

**This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

**Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.**

**Defects in the images may include (but are not limited to):**

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

# 2  
10-10-00  
DRS

Docket No. 1460.1007/HJS

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of:

Takeshi HOSHIDA et al.

Group Art Unit:

Serial No.:

Examiner:

Filed: August 10, 2000

For: OPTICAL AMPLIFYING APPARATUS FOR AMPLIFYING  
WIDE-WAVELENGTH-BAND LIGHT, OPTICAL SENDING APPARATUS,  
OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM, AND OPTICAL AMPLIFYING  
METHOD



**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR  
FOREIGN APPLICATION IN ACCORDANCE WITH  
THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s)  
herewith a certified copy of the following foreign application(s):

Japanese Patent Application No. Hei 11-228545  
Filed: August 12, 1999

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing  
date, as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements  
of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,  
STAAS & HALSEY LLP

Date: August 10, 2000

By: \_\_\_\_\_

  
J. Randall Beckers

Registration No. 30,358

700 Eleventh Street, N.W., Suite 500  
Washington, D.C. 20001  
Telephone: (202) 434-1500  
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

JC862 U.S. PTO  
09/635431  
08/10/00

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 1 9 9 9 年 8 月 1 2 日

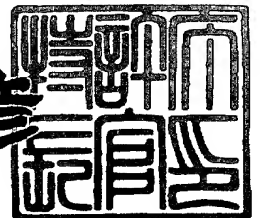
出 願 番 号  
Application Number: 平成 1 1 年特許願第 2 2 8 5 4 5 号

出 願 人  
Applicant (s): 富士通株式会社

2 0 0 0 年 6 月 2 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特 2 0 0 0 - 3 0 4 1 4 0 3

【書類名】 特許願

【整理番号】 9901542

【提出日】 平成11年 8月12日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02F 1/35  
H01S 3/30  
H04B 3/04  
H04B 10/18

【発明の名称】 複合光増幅装置、 $n$ 波長帯域WDM方式光信号送信装置  
、光伝送システムおよび光増幅方法

【請求項の数】 31

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通  
株式会社内  
【氏名】 星田 剛司

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通  
株式会社内  
【氏名】 寺原 隆文

【特許出願人】  
【識別番号】 000005223  
【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100072718  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 古谷 史旺  
【電話番号】 3343-2901

【選任した代理人】  
【識別番号】 100075591



【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 榮祐

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013354

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704947

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 複合光増幅装置、 $n$ 波長帯域WDM方式光信号送信装置、光伝送システムおよび光増幅方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光を増幅することができる波長帯域が互いに異なる複数の光増幅手段の出力を波長多重して光伝送路に出力する複合光増幅装置において、

前記複数の光増幅手段のうちの短い波長帯域の光を増幅する光増幅手段の出力を長い波長帯域の光を増幅する光増幅手段の出力より大きく設定することを特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 2】 光伝送路からの光を所定の波長帯域ごとに分離して該波長帯域に対応する複数の光増幅手段で前記所定の波長帯域ごとに増幅する複合光増幅装置において、

前記複数の光増幅手段のうちの短い波長帯域の光を増幅する光増幅手段の出力を長い波長帯域の光を増幅する光増幅手段の出力より大きく設定することを特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載の複合光増幅装置において、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を設定すること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 4】 入射される光の波長帯域ごとに設けられ、該波長帯域の光を増幅する複数の光増幅手段と、

前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における前記各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を制御する制御手段と、

前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光を波長多重して射出する波長多重手段とを備える複合光増幅装置。

【請求項 5】 入射される光を所定の波長帯域ごとに分離して該波長帯域ご

とに射出する波長分波手段と、

前記波長分波手段から射出される前記波長帯域ごとに設けられ、入射する光の前記波長帯域を増幅する複数の光増幅手段と、

前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における前記各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を制御する制御手段と、

前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光を波長多重して射出する波長多重手段とを備える複合光増幅装置。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の複合光増幅装置において、

前記波長分波手段に接続され、前記入射される光を伝送する光伝送路と、

前記波長分波手段に接続され、前記光伝送路中で誘導ラマン散乱により前記入射される光に光パワーを供給する励起光源とをさらに備え、

前記波長分波手段は、さらに前記励起光源からの光を前記光伝送路に射出すること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 7】 請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置において、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を制御する制御手段であること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 8】 請求項 5 に記載の複合光増幅装置において、

前記波長分波手段に接続され、前記入射される光を伝送する光伝送路と、

前記波長分波手段に接続され、前記光伝送路中で誘導ラマン散乱により前記入射される光に光パワーを供給する励起光源とをさらに備え、

前記波長分波手段は、さらに前記励起光源からの光を前記光伝送路に射出する波長分波手段であり、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各

光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を制御する制御手段であること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 9】 請求項 4 ないし請求項 8 のいずれか 1 項に記載の複合光増幅装置において、

前記制御手段の制御量は、該複合光増幅装置の射出側に接続される光伝送路における誘導ラマン散乱、該光伝送路の損失、前記波長分波手段の損失および前記波長多重手段の損失のうちの少なくとも 1 つに基づいて決定されること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 10】 請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置において

前記入射される光は、第 1 波長帯域および第 1 波長帯域より長波長側の第 2 波長帯域のそれぞれには複数の互いに異なる波長の光信号からなる WDM 方式光信号であり、

前記制御手段は、第 1 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合または第 2 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合に、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝送した場合の該地点における前記各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、第 1 波長帯域の WDM 方式光信号を増幅する光増幅手段の出力を増減させまたは第 2 波長帯域の WDM 方式光信号を増幅する光増幅手段の出力を増減させる制御手段であること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 11】 請求項 5 に記載の複合光増幅装置において、

前記波長分波手段に接続され、前記入射される光を伝送する光伝送路と、

前記波長分波手段に接続され、前記光伝送路中で誘導ラマン散乱により前記入射される光に光パワーを供給する励起光源とをさらに備え、

前記入射される光は、第 1 波長帯域および第 1 波長帯域より長波長側の第 2 波長帯域のそれぞれには複数の互いに異なる波長の光信号からなる WDM 方式光信号であり、

前記波長分波手段は、さらに前記励起光源からの光を前記光伝送路に射出する波長分波手段であり、

前記制御手段は、第 1 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合または第 2 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合に、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝送した場合の該地点における前記各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、第 1 波長帯域の WDM 方式光信号を増幅する光増幅手段の出力を増減させまたは第 2 波長帯域の WDM 方式光信号を増幅する光増幅手段の出力を増減させる制御手段であること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 1 2】 請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置において

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における前記各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて前記地点における前記各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 1 3】 請求項 5 に記載の複合光増幅装置において、

前記波長分波手段に接続され、前記入射される光を伝送する光伝送路と、

前記波長分波手段に接続され、前記光伝送路中で誘導ラマン散乱により前記入射される光に光パワーを供給する励起光源とをさらに備え、

前記波長分波手段は、さらに前記励起光源からの光を前記光伝送路に射出する波長分波手段であり、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における前記各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて前記地点における前記各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 1 4】 請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置において

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における前記各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 1 5】 請求項 5 に記載の複合光増幅装置において、

前記波長分波手段に接続され、前記入射される光を伝送する光伝送路と、

前記波長分波手段に接続され、前記光伝送路中で誘導ラマン散乱により前記入射される光に光パワーを供給する励起光源とをさらに備え、

前記波長分波手段は、さらに前記励起光源からの光を前記光伝送路に射出する波長分波手段であり、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における前記各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 1 6】 請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置において

前記入射する光は、複数の波長帯域のそれぞれに WDM 方式光信号を設けられた  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号であって、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における最短波長のチャネルの光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて前記地点における前記各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 1 7】 請求項 5 に記載の複合光増幅装置において、  
 前記波長分波手段に接続され、前記入射される光を伝送する光伝送路と、  
 前記波長分波手段に接続され、前記光伝送路中で誘導ラマン散乱により前記入射される光に光パワーを供給する励起光源とをさらに備え、  
 前記入射する光は、複数の波長帯域のそれぞれに WDM 方式光信号を設けられた n 波長帯域 WDM 方式光信号であり、  
 前記波長分波手段は、さらに前記励起光源からの光を前記光伝送路に射出する波長分波手段であり、  
 前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における最短波長のチャネルの光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて前記地点における前記各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること  
 を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 1 8】 請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置において、  
 前記入射する光は、複数の波長帯域のそれぞれに WDM 方式光信号を設けられた n 波長帯域 WDM 方式光信号であって、  
 前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における最短波長のチャネルの光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること  
 を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 1 9】 請求項 5 に記載の複合光増幅装置において、  
 前記波長分波手段に接続され、前記入射される光を伝送する光伝送路と、  
 前記波長分波手段に接続され、前記光伝送路中で誘導ラマン散乱により前記入射される光に光パワーを供給する励起光源とをさらに備え、  
 前記入射する光は、複数の波長帯域のそれぞれに WDM 方式光信号を設けられ

た n 波長帯域 WDM 方式光信号であり、

前記波長分波手段は、さらに前記励起光源からの光を前記光伝送路に射出する波長分波手段であり、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における最短波長のチャネルの光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする複合光増幅装置。

【請求項 20】 所定の波長帯域ごとに設けられ、該波長帯域に WDM 方式光信号を生成する複数の光信号生成手段と、

前記各光信号生成手段ごとに接続され、該光信号生成手段が生成した WDM 方式光信号の波長帯域の光を増幅する複数の光増幅手段と、

前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝送した場合に、該地点における前記各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を制御する制御手段と、

各前記光増幅手段で増幅された各前記波長帯域の WDM 方式光信号を波長多重して射出する波長多重手段とを備える n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置。

【請求項 21】 請求項 20 に記載の n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置において、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を制御する制御手段であること

を特徴とする n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置。

【請求項 22】 請求項 20 または請求項 21 に記載の n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置において、

前記制御手段の制御量は、該 WDM 方式光信号送信装置の射出側に接続される



光伝送路における誘導ラマン散乱、該光伝送路の損失および前記波長多重手段の損失のうちの少なくとも1つに基づいて決定されること

を特徴とする n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置。

【請求項 2 3】 請求項 2 0 に記載の n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置において、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における前記各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて前記地点における前記各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置。

【請求項 2 4】 請求項 2 0 に記載の n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置において、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に該地点における前記各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置。

【請求項 2 5】 請求項 2 0 に記載の n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置において、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における最短波長のチャネルの光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて前記地点における前記各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置。

【請求項 2 6】 請求項 2 0 に記載の n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置において、

前記制御手段は、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の WDM 方式

光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における最短波長のチャンネルの光パワーを検出する検出部を備え、前記検出部の出力に応じて該地点における前記各波長帯域の光パワーから前記各光増幅手段の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置。

【請求項 2 7】 第 1 波長帯域に WDM 方式光信号を生成する第 1 光信号生成手段と、

第 1 波長帯域より長波長側の第 2 波長帯域に WDM 方式光信号を生成する第 2 光信号生成手段と、

前記第 1 光信号生成手段に接続され、前記第 1 波長帯域の光を増幅する第 1 光増幅手段と、

前記第 2 光信号生成手段に接続され、前記第 2 波長帯域の光を増幅する第 2 光増幅手段と、

前記第 1 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合または前記第 2 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合に、前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝送した場合の該地点における前記各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、前記第 1 光増幅手段の出力を増減させまたは前記第 2 光増幅手段の出力を増減させる制御手段と、

前記第 1 光増幅手段で増幅された前記第 1 波長帯域の WDM 方式光信号と前記第 2 光増幅手段で増幅された前記第 2 波長帯域の WDM 方式光信号とを波長多重して射出する波長多重手段とを備える n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置。

【請求項 2 8】 光信号を生成して送信する光送信装置と該光送信装置に接続され光信号を伝送する光伝送路と該光伝送路に接続され前記光伝送路を伝送した前記光信号を受信・処理する光受信装置と前記光伝送路の間に少なくとも 1 つ接続され前記光伝送路を伝送する光信号を増幅する光増幅装置とからなる光伝送システムにおいて、

前記光増幅装置は、請求項 1 ないし請求項 1 9 のいずれか 1 項に記載の複合光増幅装置であること

を特徴とする光伝送システム。

【請求項 2 9】 光信号を生成して送信する光送信装置と該光送信装置に接続され光信号を伝送する光伝送路と該光伝送路に接続され前記光伝送路を伝送した前記光信号を受信・処理する光受信装置とからなる光伝送システムにおいて、前記光受信装置は、

光信号のスペクトルを検出して該検出結果を前記光送信装置に出力するスペクトル検出手段を備え、

前記光送信装置は、

所定の波長帯域ごとに設けられ、該波長帯域内において前記検出結果に基づいて光パワーを調整した各光信号を波長多重してWDM方式光信号を生成する複数のプリエンファシス光信号生成手段と、

前記各プリエンファシス光信号生成手段ごとに接続され、該プリエンファシス光信号生成手段が生成したWDM方式光信号の波長帯域の光を増幅する複数の光増幅手段と、

前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域のWDM方式光信号が所定の地点まで伝送した場合に、該地点における前記各波長帯域のWDM方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を制御する制御手段と、

各前記光増幅手段で増幅された各前記波長帯域のWDM方式光信号を波長多重して射出する波長多重手段とを備えること

を特徴とする光伝送システム。

【請求項 3 0】 入射される光の波長帯域ごとに設けられる複数の光増幅手段で前記各波長帯域の光を増幅し、増幅された前記各波長帯域の光を波長多重して射出する光増幅方法において、

前記各光増幅手段で増幅された前記各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における前記各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする光増幅方法。

【請求項 3 1】 波長帯域ごとにWDM方式光信号を光信号生成手段で生成

し、入射される光の波長帯域ごとに設けられる複数の光増幅手段で生成された前記各WDM方式光信号を増幅し、増幅された前記各WDM方式光信号を波長多重して射出する光増幅方法において、

前記各WDM方式光信号において光信号ごとに光パワーを変えるように、前記光信号生成手段の出力を制御して波長帯域内プリアンファシスを施し、

前記各光増幅手段で増幅された前記各WDM方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、該地点における前記各WDM方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、前記各光増幅手段の出力を制御すること

を特徴とする光増幅方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、波長帯域ごとに対応して光増幅器を複数個備える複合光増幅装置において、各光増幅器の出力を制御することにより、所定の距離を伝搬した地点における各波長帯域の光パワーを同一にすることができる複合光増幅装置およびn波長帯域WDM方式光信号送信装置に関する。そして、これらの装置を光送信装置および光中継装置に使用した光伝送システムに関する。さらに、波長帯域ごとに対応して光増幅器を複数個備える複合光増幅装置における光増幅方法に関する。

将来のマルチメディアネットワークの構築を目指し、超長距離でかつ大容量の光伝送システムが要求されている。この大容量化を実現する方式として、波長分割多重（Wavelength-division Multiplexing、以下、「WDM」と略記する。）方式が、光ファイバの広帯域・大容量性を有効利用できるなどの有利な点から研究・開発が進められている。

特に、近年では、WDM方式のさらなる広帯域化・多波長化が要望され、この広帯域化・多波長化されたWDM方式光信号を増幅する光増幅装置の研究・開発が盛んである。

#### 【0002】

#### 【従来の技術】

このような広帯域化・多波長化されたWDM方式光信号を増幅する光増幅装置について、「分散シフトファイバ上での3波長帯域WDM伝送」（可児 淳一ほか、1999年電子情報通信学会総合大会）に報告されている。

## 【0003】

図23は、この報告を参考にした、従来の3波長帯域WDM伝送システムの構成を示す図である。

図23において、16個の各レーザダイオード（laser diode、以下、「LD」と略記する。）150-1～150-nは、 $S^{+}$ -bandのチャンネル1からチャンネル16に対応する波長のレーザ光を各々発振する。発振したチャンネル1からチャンネル16の各レーザ光は、アレイ導波路回折格子（arrayed waveguide grating、以下、「AWG」と略記する。）151-1に入射される。AWG151-1は、このチャンネル1からチャンネル16の各レーザ光を波長多重しWDM方式光を生成する。このWDM方式光は、マッハツェンダ型光変調器（以下、「MZ」と略記する。）152-1に入射され、MZ152-1で送信すべき情報で変調されてWDM方式光信号となって、ツリウム添加光ファイバ増幅器（thulium-doped fiber amplifier、以下、「TDFA」と略記する。）153に入射される。TDFA153は、1450nm帯域を増幅する希土類元素添加光ファイバ増幅器であるため、この $S^{+}$ -bandのWDM方式光信号を増幅することができる。増幅されたWDM方式光信号は、誘電体多層膜フィルタからなる波長多重カブラ（以下、「WDMカブラ」と略記する。）156に入射される。

## 【0004】

そして、C-bandのWDM方式光信号は、TDFA153を1550nm帯域を増幅するエルビウム添加光ファイバ増幅器（erbium-doped fiber amplifier、以下、「EDFA」と略記する。）154に代えて、LD150-17～150-32、AWG151-2、MZ152-2およびEDFA154からなる上述と同様の構成により生成されてWDMカブラ156に入射される。

## 【0005】

さらに、L-bandのWDM方式光信号は、TDFA153を1580nm帯域を増幅するゲインシフトエルビウム添加光ファイバ増幅器（以下、「GS-

EDFA」と略記する。) 155に代えて、LD150-33～150-48、AWG151-3、MZ152-3およびGS-EDFA155からなる上述と同様の構成により生成されてWDMカプラ156に入射される。

【0006】

WDMカプラ156は、 $S^+$ -band、C-bandおよびL-bandの各WDM方式光信号を波長多重して3波長帯域WDM方式光信号として分散シフトファイバ (dispersion shifted fiber、以下、「DSF」と略記する。) 157の光伝送路に送出される。

このような光伝送システムは、 $S^+$ -band (1450～1490nm)、C-band (1530～1570nm) およびL-band (1570～1610nm) の各波長帯域にチャンネルを持つWDM方式光信号を生成し、各波長帯域ごとに希土類元素添加光ファイバ増幅器で増幅した後に、各WDM方式光信号を波長多重して3波長帯域WDM方式光信号にして光伝送路に送出するものである。

【0007】

ところで、光伝送路中を伝送するWDM方式光信号は、誘導ラマン散乱、4光波混合、相互位相変調などの非線形光学現象によって、クロストークを引き起こすことが知られている。

特に、誘導ラマン散乱は、光伝送路中の光学フォノンとの相互作用によって短波長側の光パワーを長波長側に移行させることから、チャンネル間の光パワーが不均一となって利得傾斜を生じ、その結果、WDM方式光信号の短波長側のチャンネルにSNR (signal to noise ratio) の劣化を生じさせる。

【0008】

このWDM方式光信号の最も短波長側のチャンネルから失われる光パワーの割合Dは、WDM方式光信号がラマン利得のある周波数帯域15THz内にあり、チャンネル間隔を $\Delta f$ 、チャンネル数をNとすると、

【数 1】

$$D = \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{\lambda_i}{\lambda_0} \right) \times \left( \frac{P_i \gamma_i L_e}{2 A_{\text{eff}}} \right)$$

で表される。ここで、 $\lambda_i$ 、 $P_i$ 、 $\gamma_i$  は、それぞれ  $i$  番目のチャネルの波長、光パワー、ラマン利得係数である。 $L_e$  は、光伝送路の有効長で光伝送路の損失係数を  $\alpha$  とすれば、 $L_e = (1 - \exp(-\alpha)) / \alpha$  である。そして、 $A_{\text{eff}}$  は、光伝送路の有効コア断面積を表す。

【0009】

また、光ファイバのラマン利得係数は、一般に、三角形近似され、

【数 2】

$$\gamma_i = \frac{i \Delta f \gamma_p}{1.5 \times 10^{13}}$$

で表される。ここで、 $\gamma_p$  は、三角形近似した際のラマン利得係数の最大値であるピーク利得係数である。

このような誘導ラマン散乱の諸式は、例えば、「光ファイバ通信技術」（小西良弘監修、日刊工業新聞社）276 頁ないし 278 頁に説明されている。

【0010】

従来は、このような誘導ラマン散乱により、例えば、32 波の WDM 方式光信号を光ファイバで一定距離を伝送すると、チャネル 1 の光パワーが長波長側のチャネルに移行するため、WDM 方式光信号に利得傾斜が生じることが知られていた。つまり、1 つの波長帯域内において WDM 方式光信号に誘導ラマン散乱による利得傾斜が生じることが知られていた。

【0011】

ところで、1550 nm 付近の波長帯域において、この誘導ラマン散乱の相互作用が働く範囲は、130 nm 以上の広い波長帯域に亘ることが計算される。したがって、3 つの波長帯域内に各チャネルをそれぞれ設定された 3 波長帯域 WDM 方式光信号は、図 23 に示す光伝送システムで 100 km を伝送するとその地

点Xでは、誘導ラマン散乱により短波長側の波長帯域である $S^+$  - b a n dの光パワーが長波長側の波長帯域であるC - b a n dおよびL - b a n dに移行するためSNRが劣化する、と予想される。

【0 0 1 2】

そこで、C - b a n dおよびL - b a n dを同時に伝送する2波長帯域WDM方式光信号の場合に、誘導ラマン散乱がこの2波長帯域WDM方式光信号に与える影響について、測定を行った。

図17は、単方向伝送の場合における誘導ラマン散乱による利得傾斜を測定する測定系の構成を示す図である。

【0 0 1 3】

図17において、32個の各LD120-1~120-32は、C - b a n dのチャンネル1からチャンネル32に対応する波長のレーザ光を各々発振する。発振したチャンネル1からチャンネル32の各レーザ光は、AWG121-1に入射され、波長多重されてWDM方式光になる。このWDM方式光は、EDFA122に入射され、増幅される。増幅されたWDM方式光は、光パワーを減衰する減衰器（attenuator、以下、「ATT」と略記する。）123に入射される。減衰して所定の光パワーに設定されたWDM方式光は、WDMカブラ126に入射される。

【0 0 1 4】

そして、L - b a n dのWDM方式光は、EDFA122をGS-EDFA124に代えて、LD120-33~120-64、AWG121-2、GS-EDFA124およびATT125からなる上述と同様の構成により生成されてWDMカブラ126に入射される。

WDMカブラ126は、C - b a n dおよびL - b a n dの各WDM方式光を波長多重して2波長帯域WDM方式光として単一モードファイバ（single mode fiber、以下、「SMF」と略記する。）127に送出される。

【0 0 1 5】

そして、2波長帯域WDM方式光は、SMF127を80km伝送した後に、入射した光の波長とその波長における光パワーとを測定する光スペクトルアナライザ128に入射される。



ここで、ATT 1 2 3、1 2 5 の各減衰量は、C - b a n d における各チャネルの光パワーと L - b a n d における各チャネルの光パワーとを WDM カプラ 1 2 6 から射出される直後の地点、すなわち、図 1 7 に示す地点 Y において、同一になるように調節される。

【0 0 1 6】

このような測定系は、C - b a n d および L - b a n d の各波長帯域にチャネルを持つ WDM 方式光を生成し、各波長帯域ごとに希土類元素添加光ファイバ増幅器と ATT 1 2 3、1 2 5 とで光パワーを調節した後に、各 WDM 方式光信号を波長多重して 2 波長帯域 WDM 方式光にして SMF 1 2 7 に送出する。そして、SMF 1 2 7 を 8 0 k m 伝送した後の 2 波長帯域 WDM 方式光を光スペクトルアナライザ 1 2 8 で測定する。

【0 0 1 7】

図 1 8 は、地点 Y における 2 波長帯域 WDM 方式光のスペクトルを示す図である。

図 1 9 は、SMF を 8 0 k m 伝送後における 2 波長帯域 WDM 方式光のスペクトルを示す図である。

図 2 0 は、単方向伝送の場合におけるラマン利得を示す図である。

【0 0 1 8】

図 1 8 および図 1 9 の縦軸は、d B m 単位で表示した光パワーであり、横軸は、n m 単位で表示した波長である。また、図 2 0 の縦軸は、d B 単位で表示したラマン利得であり、横軸は、n m 単位で表示した波長である。

図 1 8 と図 1 9 とを比較すると、図 1 8 では、C - b a n d と L - b a n d との光パワーは、ほぼ同一であるのに対し、8 0 k m 伝送後の図 1 9 では、C - b a n d の光パワーの方が L - b a n d の光パワーより小さくなっていることが分かる。

【0 0 1 9】

図 2 0 は、この事実をより明瞭にするために図 1 8 および図 1 9 より作成した図である。図 2 0 において、×は、C - b a n d の WDM 方式光のみを 8 0 k m 伝送した後の光パワーである。▲は、L - b a n d の WDM 方式光のみを 8 0 k

m 伝送した後の光パワーである。◆は、C-band の WDM 方式光と L-band の WDM 方式光とを 80 km 伝送した後の光パワーである。

#### 【0020】

この図 20 から、両 band を伝送すると、C-band の光パワーが小さくなるとともに L-band の光パワーが大きくなることが分かる。すなわち、誘導ラマン散乱により C-band の光パワーが L-band に移行することが分かる。

以上は、C-band および L-band を同一方向に伝送する場合であるが、C-band および L-band を互いに逆方向に伝送する双方向伝送の場合についても同様に測定した。

#### 【0021】

図 21 は、双方向伝送の場合における誘導ラマン散乱による利得傾斜を測定する測定系の構成を示す図である。

図 21 は、図 17 の LD120-33 ~ 120-64、AWG120-2、GS-EDFA124 および ATT125 からなる L-band の WDM 方式光を生成する構成を SMF127 の C-band の WDM 方式光が入射される端とは逆の端に WDM カプラ 129 を介して設け、L-band の WDM 方式光のスペクトルを測定する光スペクトルアナライザ 130 を備えたこと以外は、図 17 と同様であるので、この測定系の構成については、その説明を省略する。

#### 【0022】

このような測定系では、生成された C-band の WDM 方式光は、EDFA122 と ATT123 とで光パワーを調節した後に、SMF127 に送出され、SMF127 を 80 km 伝送した後に光スペクトルアナライザ 128 で測定される。一方、生成された L-band の WDM 方式光は、GS-EDFA124 と ATT125 とで光パワーを調節した後に、SMF127 に送出され、SMF127 を 80 km 伝送した後に光スペクトルアナライザ 130 で測定される。

#### 【0023】

ここで、図 21 に示す地点 Z1 における C-band における各チャネルの光パワーと地点 Z2 における L-band における各チャネルの光パワーとは、A

T T 1 2 3、1 2 5 で同一になるように調節される。

図 2 2 は、双方向伝送のラマン利得と単方向伝送のラマン利得とを示す図である。

【0 0 2 4】

図 2 2 の縦軸は、d B 単位で表示したラマン利得であり、横軸は、n m 単位で表示した波長である。◆は、単方向伝送の光パワーであり、図 2 0 を転記したものである。■は、双方向伝送の光パワーである。

この図 2 2 から、両 b a n d を伝送した場合に生じる C - b a n d の光パワーが L - b a n d に移行する現象は、単方向伝送でも双方向伝送でも同一であることが分かる。

【0 0 2 5】

【発明が解決しようとする課題】

図 1 9、図 2 0 および図 2 2 から分かるように、2 波長帯域 WDM 方式光を伝送すると、誘導ラマン散乱により C - b a n d の WDM 方式光の光パワーが L - b a n d の WDM 方式光に移行する。つまり、誘導ラマン散乱により短波長側の波長帯域における WDM 方式光の光パワーが長波長側の波長帯域における WDM 方式光に移行する。このため、n 波長帯域 WDM 方式光を伝送した場合には、波長帯域間において光パワーに格差が生じ、短波長側の波長帯域における WDM 方式光の S N R が劣化するという問題が生じる。

【0 0 2 6】

特に、[数 1] から分かるように、超長距離を伝送する場合には、P i および L e が大きくなるため、この問題は、重大である。

そこで、請求項 1 ないし請求項 2 8 に記載の発明では、n 波長帯域 WDM 方式光を伝送する前に各波長帯域の光パワーに差を設けることにより、伝送後における波長帯域間の光パワーに格差のない複合光増幅装置、WDM 方式光信号送信装置および光伝送システムを提供することを目的とする。

【0 0 2 7】

そして、請求項 2 9 に記載の発明では、n 波長帯域 WDM 方式光信号における各波長帯域のそれぞれに対して波長帯域内プリアンファシスを設けることととも

に、 $n$  波長帯域 WDM 方式光信号を伝送する前に各波長帯域の光パワーに差を設けることより、伝送後における光信号の S N R を改善する光伝送システムを提供することを目的とする。

【0 0 2 8】

さらに、請求項 3 0 および請求項 3 1 に記載の発明では、 $n$  波長帯域 WDM 方式光を増幅する場合に、伝送後における波長帯域間の光パワーに格差のない光増幅方法を提供することを目的とする。

【0 0 2 9】

【課題を解決するための手段】

以下、図面に基づいて本発明の原理を説明する。

【0 0 3 0】

(請求項 1)

図 1 は、請求項 1、請求項 3、請求項 4、請求項 7、請求項 9、請求項 1 0、請求項 1 2、請求項 1 4、請求項 1 6 および請求項 1 8 に記載の発明の原理構成を示す図である。

図 1 において、請求項 1 に記載の発明では、光を増幅することができる波長帯域が互いに異なる複数の光増幅手段 5 の出力を波長多重して光伝送路に出力する複合光増幅装置 1 において、複数の光増幅手段 5 のうちの短い波長帯域の光を増幅する光増幅手段の出力を長い波長帯域の光を増幅する光増幅手段の出力より大きく設定することで構成する。

【0 0 3 1】

(請求項 2)

図 2 は、請求項 2、請求項 3、および、請求項 5 ないし請求項 1 9 に記載の発明の原理構成を示す図である。

なお、図 2 において、破線で示す励起光源 9 は、請求項 3 に記載の発明に対する構成である。

【0 0 3 2】

図 2 において、請求項 2 に記載の発明では、光伝送路 1 1 からの光を所定の波長帯域ごとに分離して波長帯域に対応する複数の光増幅手段 5 で所定の波長帯域

ごとに増幅する複合光増幅装置 2 において、複数の光増幅手段 5 のうちの短い波長帯域の光を増幅する光増幅手段の出力を長い波長帯域の光を増幅する光増幅手段の出力より大きく設定することで構成する。

【0033】

(請求項 3)

図 1 および図 2 において、請求項 3 に記載の発明では、請求項 1 または請求項 2 に記載の複合光増幅装置 1、2 において、各光増幅手段 5 で増幅された各波長帯域の光が所定の地点、例えば、この複合光増幅装置 1、2 から一定距離離れた光伝送路 10 上の地点 A まで伝搬した場合に、この地点 A における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5 の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5 の出力を設定することで構成する。

【0034】

(請求項 4)

図 1 において、請求項 4 に記載の発明にかかる複合光増幅装置 1 では、第 1 波長帯域の入射光は、この第 1 波長帯域の光を増幅する光増幅手段 5-1 に入射される。第 2 波長帯域の入射光は、この第 2 波長帯域の光を増幅する光増幅手段 5-2 に入射される。以下同様に、第 n 波長帯域の入射光は、この第 n 波長帯域の光を増幅する光増幅手段 5-n に入射される。このように、複数の光増幅手段 5-1 ~ 5-n は、入射される光の波長帯域ごとに設けられ、この波長帯域の光を増幅する。

【0035】

制御手段 7 は、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n で増幅された各波長帯域の光が所定の地点、例えば、この複合光増幅装置 1 から一定距離離れた光伝送路 10 上の地点 A まで伝搬した場合に、この地点 A における各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n の出力を制御する。

そして、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n で増幅された各波長帯域の光は、波長多重手段 6 に入射され、この波長多重手段 6 で波長多重されて、波長多重手段 6 に接続する光伝送路 10 に射出される。

【0036】

ここで、光伝送路 10 は、光ファイバだけでなく気体で満たされた空間の場合

も含まれる。

(請求項 5)

図 2 において、請求項 5 に記載の発明にかかる複合光増幅装置 2 では、波長分波手段 8 は、入射される光を所定の波長帯域ごとに分離して、分離した波長帯域ごとに射出する。

【0037】

複数の光増幅手段 5-1～5-n は、波長分波手段 8 から射出される波長帯域ごとに設けられ、入射する光の波長帯域を増幅する。

制御手段 7 は、各光増幅手段 5-1～5-n で増幅された各波長帯域の光が所定の地点、例えば、この複合光増幅装置 1 から一定距離離れた光伝送路 10 上の地点 A まで伝搬した場合に、この地点 A における各波長帯域の光パワーが互いに同一になるように、各光増幅手段 5-1～5-n の出力を制御する。

【0038】

そして、各光増幅手段 5-1～5-n で増幅された各波長帯域の光は、波長多重手段 6 に入射され、この波長多重手段 6 で波長多重されて、波長多重手段 6 に接続する光伝送路 10 に射出される。

このように請求項 2 に記載の発明は、各光増幅手段 5-1～5-n の増幅波長帯域に対応するように入射光を波長帯域ごとに分離する波長分波手段 8 をさらに備えて構成される点で、請求項 4 に記載の発明と異なる。

【0039】

(請求項 6)

図 2 において、請求項 6 に記載の発明では、請求項 5 に記載の複合光増幅装置 2 において、波長分波手段 8 に接続され、入射される光を伝送する光伝送路 11 と、波長分波手段 8 に接続され、光伝送路 11 中で誘導ラマン散乱により入射される光に光パワーを供給する励起光源 9 とをさらに備え、波長分波手段 8 は、さらに励起光源 9 からの光を前記光伝送路 11 に射出するように構成される。

【0040】

波長分波手段 8 は、入射光を分離する間に入射光の光パワーを減衰させる。請求項 6 に記載の発明では、励起光源 9 からの光を入射光が伝搬する光伝送路 11

に供給することによって、光伝送路 1 1 中で誘導ラマン散乱による光増幅を生じさせて入射光を増幅する。このため、波長分波手段 8 で生じる減衰分を補うことができる。

【0 0 4 1】

(請求項 7)

図 1 および図 2 において、請求項 7 に記載の発明では、請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置 1、2 において、制御手段 7 は、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n で増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5-1 ~ 5-n の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n の出力を制御することで構成する。

【0 0 4 2】

(請求項 8)

図 2 において、請求項 8 に記載の発明では、請求項 5 に記載の複合光増幅装置 2 において、波長分波手段 8 に接続され、入射される光を伝送する光伝送路 1 1 と、波長分波手段 8 に接続され、光伝送路 1 1 中で誘導ラマン散乱により入射される光に光パワーを供給する励起光源 9 とをさらに備え、波長分波手段 8 は、さらに励起光源 9 からの光を光伝送路 1 1 に射出する波長分波手段であり、制御手段 7 は、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n で増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5-1 ~ 5-n の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n の出力を制御することで構成する。

【0 0 4 3】

(請求項 9)

図 1 および図 2 において、請求項 9 に記載の発明では、請求項 4 ないし請求項 8 のいずれか 1 項に記載の複合光増幅装置 1、2 において、制御手段 7 の制御量は、この複合光増幅装置 1、2 の射出側に接続される光伝送路 1 0 における誘導ラマン散乱、この光伝送路 1 0 の損失、波長分波手段 8 の損失および波長多重手段 6 の損失のうちの少なくとも 1 つに基づいて決定されることで構成する。

## 【0044】

以下に、請求項 1 ないし請求項 9 に記載の発明の原理について説明する。

光伝送路中を伝送する光の光パワーを変動させる要因は、主に、誘導ラマン散乱、光伝送路の損失、波長分波手段の損失および波長多重手段の損失である。また、これらの要因は、波長依存性を持っている。

ここで、波長分波手段 8 の損失を考慮するのは、一定距離伝送後の光信号の S N R が光増幅手段の入力パワーと雑音指数に依存するからである。また、波長分波手段 8 の損失と波長多重手段 6 の損失とは、同じ特性を示すので、両者の損失を合わせて波長合分波手段の損失とする。そして、一定距離伝送後の光信号の S N R における雑音指数の依存性については、図 3 (e) の処で説明する。

図 3 は、請求項 1 ないし請求項 3 1 に記載の発明の原理を説明するための図である。

## 【0045】

図 3 (a) は、光伝送路中を伝送する光、例えば、第 1 波長帯域の WDM 方式光信号、第 2 波長帯域の WDM 方式光信号および第 3 波長帯域の WDM 方式光信号からなる 3 波長帯域 WDM 方式光信号を示している。

図 3 (b) は、これら各波長帯域間に生じる誘導ラマン散乱の損失の一例を示している。この図から分かるように第 1 波長帯域の光パワーが誘導ラマン散乱により第 2 波長帯域および第 3 波長帯域に移行するとともに第 2 波長帯域の光パワーが誘導ラマン散乱により第 3 波長帯域に移行している。このため、各波長帯域の光パワーに増減が生じている。

## 【0046】

図 3 (c) は、光伝送路の損失の一例を示している。この図に示すように光伝送路の損失は、伝送する光の波長によって異なる。一般に、光伝送路は、特定の波長で損失が最小となる損失波長特性を持つ。

図 3 (d) は、波長合分波手段の損失の一例を示している。特に、誘電体多層膜フィルタなどの干渉フィルタ形の光合波・分波器では、光を波長帯域ごとに合波する場合に、段階的に光を波長帯域ごとに合波（分波）していくので、初段で合波（分波）される波長帯域と最後の段で合波（分波）される波長帯域とでは、



通過する干渉フィルタの数が異なるので、損失が異なる。

【0047】

図3(e)は、光増幅手段の雑音指数の一例を示している。光増幅手段では、光増幅手段による自然放出光(amplified spontaneous emission、「ASE」と略記する。)が波長依存性を持っているため、光増幅手段の雑音指数も波長依存性を持つことになる。雑音指数は、光増幅手段において入力のスNRを出力のスNRで割った値であり、雑音パワーに関係する値である。

【0048】

図(a)に示す3波長帯域WDM方式光信号を伝送する場合に、光伝送路にこれら図3(b)ないし(d)に示すように波長依存性のある各損失が存在するので、伝送後の3波長帯域WDM方式光信号における各波長帯域の光パワーに偏差を生じる。

【0049】

すなわち、図1および図2において、第1ないし第3波長帯域のWDM方式光信号には、波長分波手段8で波長分離される間に、そして、各光増幅手段5-1～5-3で増幅され波長多重手段6で波長多重される間に図3(d)に示す損失がそれぞれ生じる。そして、波長多重された3波長帯域WDM方式光信号は、光伝送路10を地点Aまで伝送する間に図3(b)および(c)に示す損失が生じる。これら波長依存性のある損失のため、光増幅手段5-1～5-3の出力を調整しない場合には、地点Aで波長帯域間に光パワーに偏差が生じる。このため、各波長帯域ごとにスNRをみた場合に波長帯域ごとにスNRが異なる。

【0050】

したがって、各波長帯域の光パワーに生じる偏差分を補償するように、3波長帯域WDM方式光信号を伝送する前に光増幅手段5-1～5-3の出力を調整することにより波長帯域ごとに波長帯域の光パワーにプリエンファシスを設けておく。

このように波長帯域間にプリエンファシスを設けておくことによって、光伝送路中を伝送する間に生じる各損失を補償できるから、伝送後に各波長帯域間の光パワーの偏差をなくすることができる。このため3波長帯域WDM方式光信号全体のスNRを改善することができる。

## 【0051】

図4は、波長帯域間にプリエンファシスを設けた例を示す図である。図4（a）は、その第1の例を示す図である。図4（b）は、その第2の例を示す図である。

ここで、誘導ラマン散乱の損失が光伝送路の損失および波長合分波手段の損失を無視できるほど大きい場合には、[数1] および [数2] から波長帯域間に設けるプリエンファシスの各量を計算することができる。この場合には、誘導ラマン散乱により短波長帯域側の光パワーが長波長帯域側に移行するので、図4（a）に示すように、第1波長帯域の光パワーを一番大きくし、第2波長帯域の光パワーと第3波長帯域の光パワーを順次小さくすればよい。

## 【0052】

一方、伝送路の損失および波長合分波手段の損失を無視できない場合には、伝送路の損失および波長合分波手段の損失を実測して図3（c）および（d）に相当する図を作成する。そして、これら図3（b）ないし（d）を用いて、波長帯域間に設けるプリエンファシスの各量を計算することができる。この場合には、各損失の大小関係によって、様々な場合があり、図4（a）に示すように、第1波長帯域、第2波長帯域第3波長帯域の順に順次その光パワーが小さくなるように設定する場合、あるいは、図4（b）に示すように、第1波長帯域、第3波長帯域、第2波長帯域の順に順次その光パワーが小さくなるように設定する場合などがある。

## 【0053】

また、各波長帯域に対する光増幅手段間に光増幅手段の雑音パワーに差がない場合または差があっても無視できる場合には、上述のように誘導ラマン散乱、伝送路の損失および波長多重手段の損失を考慮して波長帯域間にプリエンファシスを設けることにより、伝送後における波長帯域間の光パワーをほぼ同一にすることができるので、SNRを改善することができる。

## 【0054】

一方、図3（e）に示すように各波長帯域に対する光増幅手段間に光増幅手段の雑音パワーに無視できない差がある場合には、この光増幅手段による雑音パワ

一がそのまま伝送されるので、伝送後における波長帯域の光パワーからその波長帯域を増幅する光増幅手段の雑音パワーを除去した光パワーで波長帯域間のプリエンファシスを調整すれば、SNRをさらに改善することができる。この光増幅手段の雑音パワーの除去は、光増幅手段の雑音パワーと波長帯域の光パワーとをデシベル単位に揃えることにより、波長帯域の光パワーから光増幅手段の雑音指数を引くことによって除去することができる。

【0055】

さらに、波長帯域間のプリエンファシスは、各波長帯域におけるチャンネル数が多いほどおよび波長帯域が広いほど1つの波長帯域内の光パワーはより大きくなるから、短波長側の波長帯域の光パワーと長波長側の波長帯域の光パワーとの差をより大きく設ける。

【0056】

上述のように誘導ラマン散乱、光伝送路の損失および波長合分波手段の損失が予め計測できる場合には、制御手段7で上述の原理の基づく制御を行えばよい。

また、上述の原理は、請求項10ないし請求項31に記載の発明の原理でもある。

したがって、請求項1ないし請求項9に記載の発明にかかる複合光増幅装置1、2では、各光増幅手段5-1～5-nの出力を複合光増幅手段6から一定距離までの間に光伝送路10中で生じる光パワーの変動を考慮して制御手段7によって予め制御するので、一定距離伝送後の各波長帯域の光パワーがほぼ同一になる。そのため、入射光をWDM光信号とした場合には、地点AでSNRの劣化を改善することができる。ここで、地点AにWDM方式光信号を受信・処理する光受信装置を設ければ、各波長帯域のSNRが均一化されるので、この複合光増幅装置1、2と光受信装置で構成される光伝送システムにおいて、このシステム全体の性能を向上することができる。

【0057】

(請求項10)

図1および図2において、請求項10に記載の発明では、請求項4ないし請求項5に記載の複合光増幅装置1、2において、入射される光は、第1波長帯域お

よび第 1 波長帯域より長波長側の第 2 波長帯域のそれぞれに WDM 方式光信号を設けられた 2 波長帯域 WDM 方式光信号であって、制御手段 7 は、第 1 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合または第 2 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合に、各光増幅手段 5-1～5-2 で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝送した場合のこの地点における各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、第 1 波長帯域の WDM 方式光信号を増幅する光増幅手段 5-1 の出力を増減させまたは第 2 波長帯域の WDM 方式光信号を増幅する光増幅手段 5-2 の出力を増減させる制御手段で構成する。

【0058】

(請求項 11)

図 2 において、請求項 11 に記載の発明では、請求項 5 に記載の複合光増幅装置 2 において、波長分波手段 8 に接続され、入射される光を伝送する光伝送路 11 と、波長分波手段 8 に接続され、光伝送路 11 中で誘導ラマン散乱により入射される光に光パワーを供給する励起光源 9 とをさらに備え、入射される光は、第 1 波長帯域および第 1 波長帯域より長波長側の第 2 波長帯域のそれぞれには複数の互いに異なる波長の光信号からなる WDM 方式光信号であり、波長分波手段 8 は、さらに励起光源 9 からの光を光伝送路 11 に射出する波長分波手段であり、制御手段 7 は、第 1 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合または第 2 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合に、各光増幅手段 5-1～5-n で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝送した場合のこの地点における各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、第 1 波長帯域の WDM 方式光信号を増幅する光増幅手段の出力を増減させまたは第 2 波長帯域の WDM 方式光信号を増幅する光増幅手段の出力を増減させる制御手段で構成する。

【0059】

図 5 (a) は、第 1 波長帯域のチャンネル数を  $m$  から  $m+k$  にする場合を示す図である。図 5 (b) は、第 1 波長帯域のチャンネル数を  $m$  から  $m-k$  にする場合を示す図である。

図 6 (a) は、第 2 波長帯域のチャンネル数を  $m$  から  $m+k$  にする場合を示す図である。図 6 (b) は、第 2 波長帯域のチャンネル数を  $m$  から  $m-k$  にする場合を示す図である。

#### 【0060】

図 5 および図 6 の各図における縦軸は、光パワーを示し、横軸は、波長を示す。

これら図 5 および図 6 を用いて、請求項 10 および請求項 11 に記載の発明における制御手段 7 の制御について説明する。

まず、第 1 波長帯域のチャンネル数を増減した場合の制御について説明する。

#### 【0061】

図 5 (a)、(b) において、左側に示すように、第 1 波長帯域の  $m$  波の WDM 方式光信号が設定され、第 2 波長帯域に  $L$  波の WDM 方式光信号が設定され、各チャンネルの光パワーは、 $P_0$  であるとする。

この場合から、第 1 波長帯域のチャンネル数を  $m$  から  $m+k$  に増加させた場合には、第 1 波長帯域の光パワーが増加するから図 5 (a) の右側に示すように、制御手段 7 の制御は、次の 3 通りある。

#### 【0062】

すなわち、第 1 は、図 5 (a) の右側上段に示すように、第 1 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  から減少させて、第 2 波長帯域の光パワーを  $P_0$  に維持する場合である。第 2 は、図 5 (a) の右側中段に示すように、第 1 波長帯域の光パワーを  $P_0$  に維持し、第 2 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  より増加させる場合である。第 3 は、図 5 (a) の右側下段に示すように、第 1 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  から減少させるとともに第 2 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  より増加させる場合である。

#### 【0063】

一方、図 5 (b) の左側の場合から、第 1 波長帯域のチャンネル数を  $m$  から  $m-k$  にする場合には、第 1 波長帯域の光パワーが減少するから図 5 (b) の右側に示すように、制御手段 7 の制御は、次の 3 通りある。

第 1 は、図 5 (b) の右側上段に示すように、第 1 波長帯域の 1 チャンネルあた

りの光パワーを  $P_0$  から増加させて、第 2 波長帯域の光パワーを  $P_0$  に維持する場合である。第 2 は、図 5 (b) の右側中段に示すように、第 1 波長帯域の光パワーを  $P_0$  に維持し、第 2 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  より減少させる場合である。第 3 は、図 5 (a) の右側下段に示すように、第 1 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  から増加させるとともに第 2 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  より減少させる場合である。

【0064】

次に、第 2 波長帯域のチャンネル数を増減した場合の制御について説明する。

図 6 (a)、(b) において、左側に示すように、第 1 波長帯域の  $m$  波の WDM 方式光信号が設定され、第 2 波長帯域に  $L$  波の WDM 方式光信号が設定され、各チャンネルの光パワーは  $P_0$  であるとする。

【0065】

この場合から、第 2 波長帯域のチャンネル数を  $L$  から  $L+h$  に増加させた場合には、第 2 波長帯域の光パワーが増加するから図 6 (a) の右側に示すように、制御手段 7 の制御は、次の 3 通りある。

すなわち、第 1 は、図 6 (a) の右側上段に示すように、第 1 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  から増加させて、第 2 波長帯域の光パワーを  $P_0$  に維持する場合である。第 2 は、図 6 (a) の右側中段に示すように、第 1 波長帯域の光パワーを  $P_0$  に維持し、第 2 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  より減少させる場合である。第 3 は、図 6 (a) の右側下段に示すように、第 1 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  から増加させるとともに第 2 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  より減少させる場合である。

【0066】

一方、図 6 (b) の左側の場合から、第 1 波長帯域のチャンネル数を  $L$  から  $L-h$  にする場合には、第 2 波長帯域の光パワーが減少するから図 6 (b) の右側に示すように、制御手段 7 の制御は、次の 3 通りある。

第 1 は、図 6 (b) の右側上段に示すように、第 1 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  から減少させて、第 2 波長帯域の光パワーを  $P_0$  に維持する場合である。第 2 は、図 6 (b) の右側中段に示すように、第 1 波長帯域の光パ

ワーを  $P_0$  に維持し、第 2 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  より増加させる場合である。第 3 は、図 6 (b) の右側下段に示すように、第 1 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  から減少させるとともに第 2 波長帯域の 1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  より増加させる場合である。

【0067】

このように図 5 (a)、(b)、図 6 (a)、(b) の各々の場合において、それぞれ 3 通りの制御があるが、制御手段 7 には、この 3 通りの制御の中から 1 つを選択して行わせる。

ここで、上述の各場合において、1 チャンネルあたりの光パワーを  $P_0$  より増減させる量は、増減するチャンネル数  $k$ 、 $h$ 、第 1 波長帯域および第 2 波長帯域の波長、基準となる光パワー  $P_0$ 、各波長帯域の光パワーを同一にしたい所定の地点までの伝送距離などの値から決定される。

【0068】

請求項 10 および請求項 11 に記載の発明では、制御手段 7 によって各波長帯域の光パワーを上述のように制御するので、WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合にでも確実に所定の地点における各波長帯域の光パワーを同一にすることができる。このため、2 波長帯域 WDM 方式光信号の SNR の劣化を改善することができる。

【0069】

(請求項 12)

図 1 および図 2 において、請求項 12 に記載の発明では、請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置 1、2 において、制御手段 7 は、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n で増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じてこの地点における各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように各光増幅手段 5-1 ~ 5-n の出力を制御することで構成する。

【0070】

(請求項 13)

図 2 において、請求項 13 に記載の発明では、請求項 5 に記載の複合光増幅装

置 2 において、波長分波手段 8 に接続され、入射される光を伝送する光伝送路 1 1 と、波長分波手段 8 に接続され、光伝送路 1 1 中で誘導ラマン散乱により入射される光に光パワーを供給する励起光源 9 とをさらに備え、波長分波手段 8 は、さらに励起光源 9 からの光を光伝送路 1 1 に射出する波長分波手段であり、制御手段 7 は、各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n で増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じてこの地点における各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の出力を制御することで構成する。

【0 0 7 1】

(請求項 1 4)

図 1 および図 2 において、請求項 1 4 に記載の発明では、請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置 1、2 において、制御手段 7 は、各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n で増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、この検出部の出力に応じてこの地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の出力を制御することで構成する。

【0 0 7 2】

(請求項 1 5)

図 2 において、請求項 1 5 に記載の発明では、請求項 5 に記載の複合光増幅装置 2 において、波長分波手段 8 に接続され、入射される光を伝送する光伝送路 1 1 と、波長分波手段 8 に接続され、光伝送路 1 1 中で誘導ラマン散乱により入射される光に光パワーを供給する励起光源 9 とをさらに備え、波長分波手段 8 は、さらに励起光源 9 からの光を光伝送路 1 1 に射出する波長分波手段であり、制御手段 7 は、各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n で増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、この検出部の出力に応じてこの地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の出力を制御することで構成する。



## 【0073】

請求項 1 2 および請求項 1 5 に記載の発明における制御手段 7 は、所定の地点における各波長帯域の光パワーを実際に検出して、その検出結果に基づいて各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の出力をフィードバック制御する。このため、請求項 1 2 および請求項 1 3 に記載の発明では、確実に所定の地点における各波長帯域の光パワーをほぼ同一にすることができる。そして、請求項 1 4 および請求項 1 5 に記載の発明では、各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の雑音を考慮した上で確実に所定の地点における各波長帯域の光パワーを調整することができる。

## 【0074】

雑音の除去は、デジベル単位で検出部の地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の雑音指数を引くことによって除去することができ、この除去後の値が互いにほぼ同一になるように各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の出力を制御すればよい。

特に、各波長帯域の光パワーを変動させる要因が、誘導ラマン散乱、光伝送路の損失および波長多重手段 6 の他にも存在する場合に効果的である。

## 【0075】

また、誘導ラマン散乱、光伝送路の損失および波長多重手段の損失が予め計測できる場合には、この計測値から図 3 を用いて説明した原理に基づく各波長帯域に設けるプリアンファシスの目標値を蓄積し、検出部の出力からこの出力に対応する目標値を参照し、この目標値により各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n の出力をフィードバック制御すれば、制御を迅速に収束させることができる。

## 【0076】

(請求項 1 6)

図 1 および図 2 において、請求項 1 6 に記載の発明では、請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置 1、2 において、入射する光は、複数の波長帯域のそれぞれに WDM 方式光信号を設けられた n 波長帯域 WDM 方式光信号であって、制御手段 7 は、各光増幅手段 5 -1 ~ 5 -n で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における最短波長のチャネルの光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じてその地点における各

波長帯域のWDM方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように各光増幅手段 5-1～5-n の出力を制御することで構成する。

【0077】

(請求項 17)

図 2 において、請求項 17 に記載の発明では、請求項 5 に記載の複合光増幅装置 2 において、波長分波手段 8 に接続され、入射される光を伝送する光伝送路 11 と、波長分波手段 8 に接続され、光伝送路 11 中で誘導ラマン散乱により入射される光に光パワーを供給する励起光源 9 とをさらに備え、入射する光は、複数の波長帯域のそれぞれに WDM 方式光信号を設けられた n 波長帯域 WDM 方式光信号であり、波長分波手段 8 は、さらに励起光源 9 からの光を光伝送路 11 に射出する波長分波手段であり、制御手段 7 は、各光増幅手段 5-1～5-n で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における最短波長のチャンネルの光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じてその地点における各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように各光増幅手段 5-1～5-n の出力を制御することで構成する。

【0078】

(請求項 18)

図 1 および図 2 において、請求項 18 に記載の発明では、請求項 4 または請求項 5 に記載の複合光増幅装置 1、2 において、入射する光は、複数の波長帯域のそれぞれに WDM 方式光信号を設けられた n 波長帯域 WDM 方式光信号であって、制御手段 7 は、各光増幅手段 5-1～5-n で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における最短波長のチャンネルの光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じてこの地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5-1～5-n の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5-1～5-n の出力を制御することで構成する。

【0079】

(請求項 19)

図 1 および図 2 において、請求項 19 に記載の発明では、請求項 5 に記載の複

合光増幅装置 2 において、波長分波手段 8 に接続され、入射される光を伝送する光伝送路 1 1 と、波長分波手段 8 に接続され、光伝送路 1 1 中で誘導ラマン散乱により入射される光に光パワーを供給する励起光源 9 とをさらに備え、入射する光は、複数の波長帯域のそれぞれに WDM 方式光信号を設けられた  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号であり、波長分波手段 8 は、さらに励起光源 9 からの光を光伝送路 1 1 に射出する波長分波手段であり、制御手段 7 は、各光増幅手段 5-1 ~ 5- $n$  で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における最短波長のチャネルの光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じてこの地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5-1 ~ 5- $n$  の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5-1 ~ 5- $n$  の出力を制御することで構成する。

【0080】

請求項 1 6 ないし請求項 1 9 に記載の発明における制御手段 7 は、所定の地点における最短波長のチャネルの光パワーを実際に検出して、その検出結果に基づいて各光増幅手段 5-1 ~ 5- $n$  の出力をフィードバック制御する。誘導ラマン散乱は、[数 1] に示すように短波長の光パワーが長波長側に移行する現象であるので、最短波長のチャネルの光パワーを検出することによって、所定の地点における各波長帯域の光パワーを [数 1] などによって計算することができる。このため、請求項 1 6 および請求項 1 7 に記載の発明では、確実に所定の地点における各波長帯域の光パワーをほぼ同一にすることができる。そして、請求項 1 8 および請求項 1 9 に記載の発明では、各光増幅手段 5-1 ~ 5- $n$  の雑音指数を考慮した上で確実に所定の地点における各波長帯域の光パワーを調整することができる。

【0081】

(請求項 2 0)

図 7 は、請求項 2 0 ないし請求項 2 7 に記載の発明の原理構成を示す図である。

図 7 において、請求項 2 0 に記載の発明にかかる  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号送信装置 3 では、複数の光信号生成手段 1 3-1 ~ 1 3- $n$  は、所定の波長帯域ごとに設けられ、この波長帯域に WDM 方式光信号を生成する。

## 【0082】

複数の光増幅手段 5-1～5-nは、各光信号生成手段 13-1～13-nごとに接続され、光信号生成手段 13-1～13-nが生成したWDM方式光信号における波長帯域の光を増幅する。

制御手段 7は、各光増幅手段 5-1～5-nで増幅された各波長帯域のWDM方式光信号が所定の地点、例えば、このn波長帯域WDM方式光信号送信装置 3から一定距離離れた光伝送路上の地点Aまで伝搬した場合に、この地点Aにおける各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5-1～5-nの出力を制御する。

## 【0083】

そして、各光増幅手段 5-1～5-nで増幅された各波長帯域の光は、波長多重手段 6に入射され、この波長多重手段 6で波長多重されて、波長多重手段 6に接続する光伝送路 10に射出される。

(請求項 21)

図7において、請求項 20に記載の発明では、請求項 19に記載のn波長帯域WDM方式光信号送信装置 3において、制御手段 7は、各光増幅手段 5-1～5-nで増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5-1～5-nの雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5-1～5-nの出力を制御する制御手段で構成する。

## 【0084】

(請求項 22)

図7において、請求項 22に記載の発明では、請求項 20または請求項 21に記載のn波長帯域WDM方式光信号送信装置 3において、制御手段 7の制御量は、このn波長帯域WDM方式光信号送信装置の射出側に接続される光伝送路 10における誘導ラマン散乱、光伝送路の損失および波長多重手段の損失のうちの少なくとも1つに基づいて決定されることで構成する。

## 【0085】

(請求項 23)

図 7 において、請求項 2 3 に記載の発明では、請求項 2 0 に記載の  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号送信装置 3 において、制御手段 7 は、各光増幅手段で増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、地点における各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じて地点における各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように各光増幅手段 5-1 ~ 5- $n$  の出力を制御することで構成する。

【0086】

(請求項 2 4)

図 7 において、請求項 2 4 に記載の発明では、請求項 2 0 に記載の  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号送信装置 3 において、制御手段 7 は、各光増幅手段で増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、地点における各波長帯域の光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じて地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5-1 ~ 5- $n$  の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように各光増幅手段 5-1 ~ 5- $n$  の出力を制御することで構成する。

【0087】

(請求項 2 5)

図 7 において、請求項 2 5 に記載の発明では、請求項 2 0 に記載の  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号送信装置 3 において、制御手段 7 は、各光増幅手段で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、地点における最短波長のチャネルの光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じて地点における各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように各光増幅手段 5-1 ~ 5- $n$  の出力を制御することで構成する。

【0088】

(請求項 2 6)

図 7 において、請求項 2 6 に記載の発明では、請求項 2 0 に記載の  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号送信装置 3 において、制御手段 7 は、各光増幅手段で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、地点における最短波長のチャネルの光パワーを検出する検出部を備え、検出部の出力に応じ

て地点における各波長帯域の光パワーから各光増幅手段 5-1～5-n の雑音パワーを除去したパワーが互いにほぼ同一になるように各光増幅手段 5-1～5-n の出力を制御することで構成する。

【0089】

(請求項 27)

図 7 において、請求項 27 に記載の発明では、第 1 波長帯域に WDM 方式光信号を生成する第 1 光信号生成手段 13-1 と、第 1 波長帯域より長波長側の第 2 波長帯域に WDM 方式光信号を生成する第 2 光信号生成手段 13-2 と、第 1 光信号生成手段に接続され、第 1 波長帯域の光を増幅する第 1 光増幅手段 5-1 と、第 2 光信号生成手段に接続され、第 2 波長帯域の光を増幅する第 2 光増幅手段 5-2 と、第 1 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合または第 2 波長帯域における WDM 方式光信号のチャンネル数が増減した場合に、各光増幅手段 5-1、5-2 で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝送した場合のこの地点における各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、第 1 光増幅手段 5-1 の出力を増減させまたは第 2 光増幅手段 5-2 の出力を増減させる制御手段 7 と、第 1 光増幅手段 5-1 で増幅された第 1 波長帯域の WDM 方式光信号と第 2 光増幅手段 5-2 で増幅された第 2 波長帯域の WDM 方式光信号とを波長多重して射出する波長多重手段 6 とを備えて構成する。

【0090】

これら請求項 20 ないし請求項 27 に記載の発明では、請求項 1 ないし請求項 19 に記載の発明にかかる複合光増幅装置 1、2 における各光増幅手段 5-1～5-n に対応するように光信号生成手段 13-1～13-n をさらに備えて構成される点で、請求項 1 ないし請求項 19 に記載の発明と異なる。所定の地点において各波長帯域の光パワーをほぼ同一にする作用効果および各光増幅手段 5-1～5-n の雑音指数を考慮して所定の地点において各波長帯域の光パワーを調整する作用効果は、これら請求項 1 ないし請求項 19 に記載の発明と同様なので、その説明を省略する。

【0091】

## (請求項 2 8)

請求項 2 8 に記載の発明では、光信号を生成して送信する光送信装置とこの光送信装置に接続され光信号を伝送する光伝送路とこの光伝送路に接続され光伝送路を伝送した光信号を受信・処理する光受信装置と光伝送路の間に少なくとも 1 つ接続され光伝送路を伝送する光信号を増幅する光増幅装置とからなる光伝送システムにおいて、光増幅装置は、請求項 1 ないし請求項 1 9 のいずれか 1 項に記載の複合光増幅装置で構成する。

## 【0 0 9 2】

請求項 2 8 に記載の発明では、光伝送システムの中継局である光増幅装置に請求項 1 ないし請求項 1 9 のいずれか 1 項に記載の複合光増幅装置を使用するので、所定の地点を次の中継局または光受信装置にすることにより、 $n$  波長帯域 WDM 方式光信号における各波長帯域の光パワーは、この中継局または光受信装置でほぼ同一にすることができる。このため、中継局または光受信装置で受信される  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号の SNR の劣化を改善することができる。

## 【0 0 9 3】

したがって、このような構成の光伝送システムでは、超長距離伝送をすることができる。

## (請求項 2 9)

図 8 は、請求項 2 9 に記載の発明の原理構成を示す図である。

図 8 において、請求項 2 9 に記載の発明では、光信号を生成して送信する光送信装置 4 と光送信装置 4 に接続され光信号を伝送する光伝送路 1 0 と光伝送路 1 0 に接続され光伝送路 1 0 を伝送した光信号を受信・処理する光受信装置 1 4 とからなる光伝送システムにおいて、光受信装置 1 4 は、光信号のスペクトルを検出してこの検出結果を光送信装置 4 に出力するスペクトル検出手段 1 7-1 ~ 1 7-n を備える。

## 【0 0 9 4】

そして、光送信装置 4 は、複数のプリエンファシス光信号生成手段 1 5-1 ~ 1 5-n と複数の光増幅手段 5-1 ~ 5-n と制御手段 7 と波長多重手段 6 とを備える。

この複数の複数のプリエンファシス光信号生成手段 1 5-1 ~ 1 5-n は、所定の

波長帯域ごとに設けられ、この波長帯域内においてスペクトル検出手段 1 7-1 ~ 1 7-n からの検出結果に基づいて光パワーを調整した各光信号を波長多重して WDM 方式光信号を生成する。

【 0 0 9 5 】

複数の光増幅手段 5-1 ~ 5-n は、各プリエンファシス光信号生成手段 1 5-1 ~ 1 5-n ごとに接続され、それぞれ、プリエンファシス光信号生成手段 1 5-1 ~ 1 5-n が生成した WDM 方式光信号の波長帯域の光を増幅する。

制御手段 7 は、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n で増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号が所定の地点まで伝送した場合に、この地点における各波長帯域の WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n の出力を制御する。

【 0 0 9 6 】

波長多重手段 6 は、各光増幅手段 5-1 ~ 5-n とで増幅された各波長帯域の WDM 方式光信号を波長多重して射出する。

ここで、請求項 2 9 に記載の発明では、伝送距離が長いために図 8 に示すように光伝送路の間に伝送する光信号を増幅する光増幅装置、例えば、本願にかかる複合光増幅装置 2 を接続した光伝送システムにおいても適用することができる。

【 0 0 9 7 】

図 9 は、請求項 2 9 に記載の発明の動作を説明するための図である。

図 9 (a) は、図 8 に基づいて、請求項 2 9 に記載の発明の原理構成の概略を示す図である。図 9 (b) は、光伝送路上の各地点におけるスペクトルを示す図であり、各地点は、図 9 (a) に示すように左から光送信装置 4 の射出端、この光伝送システムにおける最初の中継装置である複合光増幅装置 2 A の入射端、この複合光増幅装置 2 A の射出端、そして、光受信装置 1 4 の入射端である。図 9 (c) は、請求項 2 9 に記載の発明の効果を説明するために、光送信装置 4 が波長帯域内のプリエンファシスを行わないで波長帯域間のプリエンファシスのみを行った場合に、図 9 (b) と同様の地点におけるスペクトルを示す図である。

【 0 0 9 8 】

なお、各図の縦軸は、光パワーであり、横軸は、波長である。また、以下の請



求項 29 に記載の発明における作用効果の説明は、説明を簡単にするため、 $n$  波長帯域 WDM 方式光信号が第 1 波長帯域 WDM 方式光信号と第 2 波長帯域 WDM 方式光信号との 2 波長帯域 WDM 方式光信号である場合について説明するが、任意の WDM 方式光信号を波長多重した  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号の場合も同様に説明することができる。

【0099】

図 8 および図 9 において、第 1 波長帯域 WDM 方式光信号は、光送信装置 4 によって各光信号の光パワーを変えた波長帯域内のプリエンファシスを施される。そして、第 2 波長帯域 WDM 方式光信号は、光送信装置 4 によって各光信号の光パワーを変えた波長帯域内のプリエンファシスを施される。

【0100】

光増幅手段を備える光伝送システムでは、必然的に ASE による雑音光信号に重畳される。そして、この ASE が波長依存性を持っているため、波長の異なる各光信号を波長多重する WDM 方式光信号においては、各光信号に重畳される雑音が異なることになる。このため、WDM 方式光信号の各光信号は、互いに SNR が異なる。光受信装置では、互いに SNR の異なる光信号を受信・処理することになるので、結局、最悪の SNR である光信号に合わせて受信・処理することになる。そこで、光受信装置における各光信号の SNR の偏差がなくなるように、光送信装置において最悪の SNR である光信号の光パワーを最も大きくするなどの各光信号の光パワーを調整すれば、この SNR の偏差を補償することができる。特に、光受信装置における光信号の中で最良の SNR である光信号の SNR になるように、光送信装置において各光信号の光パワーを調整すれば、光受信装置は、最良の SNR であって互いにほぼ同一の SNR である光信号を受信できる。

【0101】

よって、これら波長帯域内のプリエンファシスは、光受信装置 14 内に設けられるスペクトル検出手段 17-1、17-2 の検出結果によって、上述のように光送信装置 4 において各光信号の光パワーが調整される。

そして、光送信装置 4 は、各 WDM 方式光信号に波長帯域内のプリエンファシ

スを施した後に、制御手段 7 によって利得を制御された光増幅手段 5-1、5-2 によって波長帯域間のプリエンファシスを施す。

【0 1 0 2】

ここで、この波長帯域間のプリエンファシスは、図 3 および図 4 を用いて説明した波長帯域間のプリエンファシスと同様なので、その説明を省略する。なお、この波長帯域間のプリエンファシスを施す場合の調整は、WDM 方式光信号の光パワーの総計を用いても、図 9 に示すように WDM 方式光信号の光パワーの平均を用いてもよい。

【0 1 0 3】

このように第 1 波長帯域 WDM 方式光信号と第 2 波長帯域 WDM 方式光信号は、波長帯域内のプリエンファシスと波長帯域間のプリエンファシスとを施された後に波長多重手段 6 によって波長多重され、図 9 (b) の左から 1 番目の図に示すように 2 波長帯域 WDM 方式光信号となって、光送信装置 4 から光伝送路に射出される。

【0 1 0 4】

複合光増幅装置 2 A の入射端では、2 波長帯域 WDM 方式光信号は、光伝送路の誘導ラマン散乱や損失などによって WDM 方式光信号の光パワーが変化するが、波長帯域間のプリエンファシスを施しているので、図 9 (b) の左から 2 番目の図に示すように、第 1 波長帯域 WDM 方式光信号の光パワーと第 2 波長帯域 WDM 方式光信号の光パワーとは、ほぼ同一である。このため各光信号の S N R は、波長帯域間のプリエンファシスを施さない場合よりも改善される。

【0 1 0 5】

そして、複合光増幅装置 2 A の射出端では、2 波長帯域 WDM 方式光信号は、図 9 (b) の左から 3 番目の図に示すように、複合光増幅装置 2 A によって波長帯域間のプリエンファシスを施された上で増幅されて、光伝送路に射出される。

光受信装置 1 4 の入射端では、順次に複合光増幅装置 2 によって波長帯域間のプリエンファシスを施された上で増幅された 2 波長帯域 WDM 方式光信号が入射される。入射される 2 波長帯域 WDM 方式光信号の各光信号は、図 9 (b) の左から 4 番目の図に示すように、波長帯域内のプリエンファシスとを施されている

ので、光送信装置 4 内、複合光増幅装置 2 内および光受信装置 1 4 内の光増幅手段による ASE から生じる SNR の劣化を改善することができる。さらに、波長帯域間のプリエンファシスも施しているのもので、誘導ラマン散乱などによる波長帯域間の偏差による SNR の劣化も改善することができる。

## 【0 1 0 6】

一般的に光増幅器の利得および雑音指数の波長特性が一様で、光伝送路のファイバ区間が等距離の場合で、波長帯域内のプリエンファシスにより受信側での各チャネルの SNR を均一にした場合、光パワーの傾きについては、送信側と逆の傾きで傾きの絶対値が同程度になるようにする。

一方、光送信装置 4 が波長帯域内のプリエンファシスを施さないで波長帯域間のプリエンファシスのみを施した場合には、光送信装置 4 の射出端では、図 9 (c) の左から 1 番目の図に示すように、各波長帯域の WDM 方式光信号は、各光信号の光パワーが同じである。

## 【0 1 0 7】

このような 2 波長帯域 WDM 方式光信号を図 9 (c) の左から 2 番目および 3 番目の図に示すように、複合光増幅装置 2 によって波長帯域間のプリエンファシスを施された上で増幅して伝送すると、光受信装置 1 4 の入射端では、図 9 (c) の左から 4 番目の図に示すように、波長帯域間の偏差による SNR は、改善されるが、波長帯域内の SNR は、残ることになる。

## 【0 1 0 8】

したがって、請求項 2 9 に記載の発明にかかる光伝送システムでは、より超長距離伝送をすることができる。

## (請求項 3 0)

請求項 3 0 に記載の発明では、入射される光の波長帯域ごとに設けられる複数の光増幅手段で各波長帯域の光を増幅し、増幅された各波長帯域の光を波長多重して射出する光増幅方法において、各光増幅手段で増幅された各波長帯域の光が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段の出力を制御することで構成する。

## 【0 1 0 9】

## (請求項 3 1)

請求項 3 1 に記載の発明では、波長帯域ごとに WDM 方式光信号を光信号生成手段で生成し、入射される光の波長帯域ごとに設けられる複数の光増幅手段で生成された各 WDM 方式光信号を増幅し、増幅された各 WDM 方式光信号を波長多重して射出する光増幅方法において、各 WDM 方式光信号において光信号ごとに光パワーを変えるように、光信号生成手段の出力を制御して波長帯域内プリアンプを施し、各光増幅手段で増幅された各 WDM 方式光信号が所定の地点まで伝搬した場合に、この地点における各 WDM 方式光信号の光パワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段の出力を制御することで構成する。

## 【 0 1 1 0 】

## 【発明の実施の形態】

以下、図面に基づいて本発明における実施の形態について説明する。

## (第 1 の実施形態の構成)

第 1 の実施形態は、請求項 1 ないし請求項 5、請求項 7、請求項 9、請求項 12、請求項 14、請求項 16、請求項 18、請求項 20 ないし請求項 28、および、請求項 30 に記載の発明に対応する光伝送システムの実施形態である。

## 【 0 1 1 1 】

この光伝送システムは、3 波長帯域 WDM 方式光信号を 3 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置で生成して、この光信号を複合光増幅装置で多段中継し、3 波長帯域 WDM 方式光信号受信装置で受信・処理するものである。この 3 波長帯域 WDM 方式光信号は、 $S^{+}$  - b a n d の波長帯域に設定されたチャネル数  $s$  の WDM 方式光信号と  $C$  - b a n d の波長帯域に設定されたチャネル数  $t$  の WDM 方式光信号と  $L$  - b a n d の波長帯域に設定されたチャネル数  $u$  の WDM 方式光信号とからなる。

## 【 0 1 1 2 】

図 1 0 は、第 1 の実施形態における光伝送システムの全体構成を示す図である。

図 1 1 は、第 1 の実施形態の光伝送システムにおける複合光増幅装置の構成を示す図である。

図 1 0 において、 $s$  個の光信号生成部 2 0 -1 ~ 2 0 - $s$  は、 $S^+ - b a n d$  のチャンネル 1 からチャンネル  $s$  に対応する光信号を各々生成する。これら光信号生成部 2 0 -1 ~ 2 0 - $s$  は、それぞれ、例えば、チャンネルに割り当てられた波長のレーザ光を発振する半導体レーザとこのレーザ光を送信すべき情報で変調する M Z とこれら半導体レーザおよび M Z を駆動・制御する制御部とで構成することができる。また、半導体レーザは、分布帰還型レーザや分布ブラッグ反射型レーザなど種々の半導体レーザを使用することができる。

#### 【0 1 1 3】

これら光信号生成部 2 0 -1 ~ 2 0 - $s$  で生成された光信号は、入射する各波長の光信号を波長多重して WDM 方式光信号に変換する WDM カプラ 2 1 -1 に入射される。WDM カプラ 2 1 -1 から射出された WDM 方式光信号は、T D F A 2 2 に入射され、増幅される。WDM カプラ 2 1 -1 として、例えば、干渉フィルタ形光合波・分波器である誘電体多層膜フィルタや A W G が使用される。後述する他の WDM カプラも同様である。

#### 【0 1 1 4】

T D F A 2 2 は、後述する監視制御回路 2 8 によって出力が制御され、その結果、この  $S^+ - b a n d$  の WDM 方式光信号の光パワーが制御される。この光パワーを制御された  $S^+ - b a n d$  の WDM 方式光信号は、WDM カプラ 2 5 に入射される。

そして、 $t$  個の光信号生成部 2 0 - $s+1$  ~ 2 1 - $s+t$  は、 $C - b a n d$  のチャンネル 1 からチャンネル  $t$  に対応する光信号を各々生成する。

#### 【0 1 1 5】

これら光信号生成部 2 0 - $s+1$  ~ 2 0 - $s+t$  で生成された光信号は、入射する各波長の光信号を波長多重して WDM 方式光信号に変換する WDM カプラ 2 1 -2 に入射される。WDM カプラ 2 1 -2 から射出された WDM 方式光信号は、監視制御回路 2 8 によってその出力が制御される E D F A 2 3 に入射され、増幅される。この光パワーを制御された  $C - b a n d$  の WDM 方式光信号は、WDM カプラ 2 5 に入射される。

#### 【0 1 1 6】

さらに、 $u$  個の光信号生成部  $20-s+t+1 \sim 20-s+t+u$  は、 $L-b a n d$  のチャンネル 1 からチャンネル  $u$  に対応する光信号を各々生成する。

これら光信号生成部  $20-s+t+1 \sim 20-s+t+u$  で生成された光信号は、入射する各波長の光信号を波長多重して WDM 方式光信号に変換する WDM カプラ 21-3 に入射される。WDM カプラ 21-3 から射出された WDM 方式光信号は、GS-EDFA 24 に入射され、監視制御回路 28 によってその出力が制御され、増幅される。この光パワーを制御された  $L-b a n d$  の WDM 方式光信号は、WDM カプラ 25 に入射される。

【0117】

ここで、WDM カプラ 25 は、図 3 (d) で説明したように波長帯域ごとに挿入損失が異なる。そこで、SNR をより改善する観点から、TDFA 22、EDFA 23 および GS-EDFA 24 の間において雑音指数が互いに異なる場合には、雑音指数が最も劣る希土類元素添加光ファイバ増幅器で増幅された WDM 方式光信号を WDM カプラ 25 の挿入損失の最も少ない波長帯域に入射させるとよい。

【0118】

TDFA 22、EDFA 23、GS-EDFA 24 の構成については、図 11 に示す複合光増幅装置の構成とほぼ同一であるので、複合光増幅装置の詳細を説明する際に併せて説明する。

また、これら  $s$ 、 $t$  および  $u$  の各数値は、いずれの数値でもよく、 $s$  の最大値は、この波長帯域を増幅する TDFA 22 の増幅波長特性とチャンネルの波長間隔で、 $t$  の最大値は、この波長帯域を増幅する EDFA 23 の増幅波長特性とチャンネルの波長間隔で、 $u$  の最大値は、この波長帯域を増幅する GS-EDFA の増幅波長特性とチャンネルの波長間隔で、それぞれ決定される。

【0119】

これら WDM カプラ 25 に入射した、 $S^+-b a n d$  の WDM 方式光信号と  $C-b a n d$  の WDM 方式光信号と  $L-b a n d$  の WDM 方式光信号とは、この WDM カプラ 25 で波長多重され、3 波長帯域 WDM 方式光信号となって光伝送路である光ファイバ 48-1 に射出され、次段の中継装置に伝送される。

光ファイバ 4 8 -1 は、次段の中継装置内の干渉フィルタ形光合波・分波器である WDM カプラ 3 1 A に接続される。光ファイバ 4 8 -1 を伝送して WDM カプラ 3 1 A に入射された 3 波長帯域 WDM 方式光信号は、WDM カプラ 3 1 A で各バンドごとに波長分離される。

## 【 0 1 2 0 】

WDM 3 1 A で分離された  $S^+$  - b a n d の WDM 方式光信号は、光を、例えば、光パワーを 1 0 : 1 の割合で 2 つに分けるカプラ 2 7 -1 に入射される。カプラ 2 7 -1 で分けられた光パワーの小さい方の WDM 方式光信号は、光パワーを計測する光パワーメータ 2 6 -1 に入射され、 $S^+$  - b a n d の WDM 方式光信号のパワーが計測される。計測された結果は、前段の監視制御回路 2 8 に送信される。一方、カプラ 2 7 -1 で分けられた光パワーの大きい方の WDM 方式光信号は、T D F A 3 2 A に射出される。

## 【 0 1 2 1 】

そして、WDM 3 1 A で分離された C - b a n d の WDM 方式光信号は、カプラ 2 7 -2、光パワーメータ 2 6 -2 および E D F A 3 3 A からなる上述と同様の構成により、C - b a n d の WDM 方式光信号のパワーが計測され、あるいは、E D F A 3 3 A に射出される。また、計測された結果は、前段の監視制御回路 2 8 に送信される。

## 【 0 1 2 2 】

さらに、WDM 3 1 A で分離された L - b a n d の WDM 方式光信号は、カプラ 2 7 -3、光パワーメータ 2 6 -3 および G S - E D F A 3 4 A からなる上述と同様の構成により、C - b a n d の WDM 方式光信号のパワーが計測され、あるいは、E D F A 3 3 A に射出される。また、計測された結果は、前段の監視制御回路 2 8 に送信される。

## 【 0 1 2 3 】

監視制御回路 2 8 は、これら光パワーメータ 2 6 -1 ~ 2 6 -3 の出力を受信して、各バンドの光パワーの差を算出し、この差がなくなるように各バンドを増幅する T D F A 2 2、E D F A 2 3、G S - E D F A 2 4 の出力をそれぞれ調節する。

一方、TDF A 3 2 A に入射した  $S^+$  - b a n d の WDM 方式光信号は、この TDF A 3 2 A で増幅され、WDM カプラ 3 5 A に入射される。TDF A 3 2 A は、後述する監視制御回路 3 8 A によって出力が制御され、その結果、この  $S^+$  - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーが制御される。

## 【0124】

そして、EDF A 3 3 A に入射した C - b a n d の WDM 方式光信号は、監視制御回路 3 8 A によって出力が制御される EDF A 3 3 A で増幅され、WDM カプラ 3 5 A に入射される。

さらに、GS-EDF A 3 4 A に入射した L - b a n d の WDM 方式光信号は、監視制御回路 3 8 A によって出力が制御される GS-EDF A 3 4 A で増幅され、WDM カプラ 3 5 A に入射される。

## 【0125】

光パワーを制御されて WDM カプラ 3 5 A に入射した各バンドの WDM 方式光信号は、この WDM プラ 3 5 A で波長多重されて再び 3 波長帯域 WDM 方式光信号となって、光伝送路である光ファイバ 4 8 -2 に射出され、次段の中継装置に伝送される。

光ファイバ 4 8 -2 は、次段の中継装置内の干渉フィルタ形光合波・分波器である WDM カプラ 3 1 B に接続される。光ファイバ 4 8 -2 を伝送して WDM カプラ 3 1 B に入射された 3 波長帯域 WDM 方式光信号は、WDM カプラ 3 1 B で各バンドごとに波長分離される。

## 【0126】

WDM 3 1 B で分離された  $S^+$  - b a n d の WDM 方式光信号は、光を、例えば、光パワーを 10 : 1 の割合で 2 つに分けるカプラ 3 7 A-1 に入射される。カプラ 3 7 A-1 で分けられた光パワーの小さい方の WDM 方式光信号は、光パワーを計測する光パワーメータ 3 6 A-1 に入射され、 $S^+$  - b a n d の WDM 方式光信号のパワーが計測される。計測された結果は、前段の監視制御回路 3 8 A に送信される。一方、カプラ 3 7 A-1 で分けられた光パワーの大きい方の WDM 方式光信号は、TDF A 3 2 B に射出される。

## 【0127】



そして、WDM 3 1 B で分離された C - b a n d の WDM 方式光信号は、カップラ 3 7 A-2 、光パワーメータ 3 6 A-2 および E D F A 3 3 B からなる上述と同様の構成により、C - b a n d の WDM 方式光信号のパワーが計測され、あるいは、E D F A 3 3 B に射出される。また、計測された結果は、前段の監視制御回路 3 8 A に送信される。

【 0 1 2 8 】

さらに、WDM 3 1 B で分離された L - b a n d の WDM 方式光信号は、カップラ 3 7 A-3 、光パワーメータ 3 6 A-3 および G S - E D F A 3 4 B からなる上述と同様の構成により、C - b a n d の WDM 方式光信号のパワーが計測され、あるいは、E D F A 3 3 B に射出される。また、計測された結果は、前段の監視制御回路 3 8 A に送信される。

【 0 1 2 9 】

監視制御回路 3 8 A は、これら光パワーメータ 3 6 A-1 ~ 3 6 A-3 の出力を受信し、各バンドの光パワーの差を算出して、この差がなくなるように各バンドを増幅する T D F A 3 2 A 、E D F A 3 3 A 、G S - E D F A 3 4 A の出力をそれぞれ調節する。

一方、T D F A 3 2 B に入射した  $S^+$  - b a n d の WDM 方式光信号は、この T D F A 3 2 B で増幅され、干渉フィルタ形光合波・分波器である WDM カプラ 3 5 B に入射される。T D F A 3 2 B は、後述する監視制御回路 3 8 B によって出力が制御され、その結果、この  $S^+$  - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーが制御される。

【 0 1 3 0 】

そして、E D F A 3 3 B に入射した C - b a n d の WDM 方式光信号は、監視制御回路 3 8 B によって出力が制御される E D F A 3 3 B で増幅され、WDM カプラ 3 5 B に入射される。

さらに、G S - E D F A 3 4 B に入射した L - b a n d の WDM 方式光信号は、監視制御回路 3 8 B によって出力が制御される G S - E D F A 3 4 B で増幅され、WDM カプラ 3 5 B に入射される。

【 0 1 3 1 】

光パワーを制御されてWDMカプラ 3 5 B に入射した各バンドのWDM方式光信号は、このWDMプラ 3 5 B で波長多重されて再び 3 波長帯域WDM方式光信号となって、光伝送路である光ファイバ 4 8 -3に射出され、次段の中継装置に伝送される。

以下、同様に、3 波長帯域WDM方式光信号は、各バンドごとに分波、光パワーの増幅・制御および波長多重されて、多段中継される。この各バンドごとの光パワーの増幅・制御は、上述のように、次段の複合光増幅装置内の光パワーメータ 3 6 -1～3 6 -3の出力に基づいて制御される T D F A 3 2、E D F A 3 3、G S - E D F A 3 4 によってそれぞれ調整される。

#### 【 0 1 3 2 】

最後の中継装置である複合光増幅装置からの 3 波長帯域WDM方式光信号は、干渉フィルタ形光合波・分波器であるWDMカプラ 4 1 に入射され、このWDMカプラ 4 1 で各バンドごとに波長分離される。

WDM 4 1 で分離された  $S^{+}$  - b a n d のWDM方式光信号は、光を、例えば、光パワーを 1 0 : 1 の割合で 2 つに分けるカプラ 3 7 Z-1 に入射される。カプラ 3 7 Z-1 で分けられた光パワーの小さい方のWDM方式光信号は、光パワーを計測する光パワーメータ 3 6 Z-1 に入射され、 $S^{+}$  - b a n d のWDM方式光信号のパワーが計測される。計測された結果は、前段の監視制御回路 3 8 Z に送信される。一方、カプラ 3 7 Z-1 で分けられた光パワーの大きい方のWDM方式光信号は、WDMカプラ 4 5 -1に射出される。

#### 【 0 1 3 3 】

そして、WDM 4 1 で分離された C - b a n d のWDM方式光信号は、カプラ 3 7 Z-2、光パワーメータ 3 6 Z-2 およびWDMカプラ 4 5 -2からなる上述と同様の構成により、C - b a n d のWDM方式光信号のパワーが計測され、あるいは、WDMカプラ 4 5 -2に射出される。また、計測された結果は、前段の監視制御回路 3 8 Z に送信される。

#### 【 0 1 3 4 】

さらに、WDM 4 1 で分離された L - b a n d のWDM方式光信号は、カプラ 3 7 Z-3、光パワーメータ 3 6 Z-3 およびWDMカプラ 4 5 -3からなる上述と同

様の構成により、L - b a n d の WDM方式光信号のパワーが計測され、あるいは、WDMカプラ 4 5 -3 に射出される。また、計測された結果は、前段の監視制御回路 3 8 Z に送信される。

#### 【 0 1 3 5 】

WDMカプラ 4 5 -1 に入射した  $S^+$  - b a n d の WDM方式光信号は、この WDMカプラ 4 5 -1 で、チャンネル 1 からチャンネル s までチャンネルごと波長分離される。波長分離された各チャンネルの光信号は、それぞれ光信号受信部 4 6 -1 ~ 4 6 -s に射出され、受信・処理される。

そして、同様に、WDMカプラ 4 5 -2 に入射した C - b a n d の WDM方式光信号は、この WDMカプラ 4 5 -2 で、チャンネル 1 からチャンネル t までチャンネルごと波長分離される。波長分離された各チャンネルの光信号は、それぞれ光信号受信部 4 6 -s+1 ~ 4 6 -s+t に射出され、受信・処理される。さらに、WDMカプラ 4 5 -3 に入射した L - b a n d の WDM方式光信号は、この WDMカプラ 4 5 -3 で、チャンネル 1 からチャンネル u までチャンネルごと波長分離される。波長分離された各チャンネルの光信号は、それぞれ光信号受信部 4 6 -s+t+1 ~ 4 6 -s+t+u に射出され、受信・処理される。

#### 【 0 1 3 6 】

次に、複合光増幅装置の構成を詳述する。

図 1 1 において、光ファイバ 4 8 を伝送することによって、前段の複合光増幅装置からの 3 波長帯域 WDM方式光信号は、WDMカプラ 3 1 に入射され、この WDMカプラ 3 1 で各バンドごとに波長分離される。分離された  $S^+$  - b a n d の WDM方式光信号は、T D F A 3 2 内のカプラ 3 7 -1 に入射される。分離された C - b a n d の WDM方式光信号は、E D F A 3 3 内のカプラ 3 7 -2 に入射される。そして、分離された L - b a n d の WDM方式光信号は、G S - E D F A 3 4 内のカプラ 3 7 -3 に入射される。

#### 【 0 1 3 7 】

これら T D F A 3 2、E D F A 3 3 および G S - E D F A 3 4 の各構成は、光を増幅する希土類元素添加光ファイバとこれを励起する励起光源が異なるだけで、同一の構成なので、T D F A 3 2 の構成について説明し、E D F A 3 3 および

G S - E D F A 3 4 の構成については、その相違点のみを説明する。

以下、T D F A 3 2 について、説明する。

【 0 1 3 8 】

前述したように、カプラ 3 7 -1 で分けられた光パワーの小さい方の WDM 方式光信号は、ホトダイオード (photodiode、以下、「P D」と略記する。) 5 4 に入射され、光電変換される。この光電変換された電流値が、 $S^{+}$  - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーに相当する値である。P D 5 4 は、この光電変換された電流を後述する演算器 5 8 とアナログディジタルコンバータ (以下、「A / D」と略記する。) 7 3 とに出力する。A / D 7 3 は、入力された電流値をアナログ量からディジタル量に変換し、監視制御回路 3 8 に出力する。監視制御回路 3 8 は、このディジタル量を光信号に変換して、前段の中継装置の監視制御回路に制御回線を使用して伝送する。

【 0 1 3 9 】

一方、カプラ 3 7 -1 で分けられた光パワーの大きい方の WDM 方式光信号は、ツリウム添加光ファイバ (以下、「T D F」と略記する。) 5 2 に入射される。

T D F 5 2 は、L D 5 5 からのレーザ光を吸収することにより T D F 5 2 内の電子が励起され反転分布を形成する。この反転分布を形成した状態で WDM 方式光信号が入射するとこの WDM 方式光信号に誘導されて誘導放射が起こり、WDM 方式光信号が増幅される。L D 5 5 は、L D 駆動回路 5 6 から供給される駆動電流によってまず半導体レーザをレーザ発振させ、この発振したレーザ光によってさらに固体レーザを発振させて、T D F 5 2 を励起するレーザ光を射出する。

【 0 1 4 0 】

T D F 5 2 で増幅された WDM 方式光信号は、光を、例えば、光パワーを 1 0 : 1 の割合で 2 つに分けるカプラ 5 3 に入射される。カプラ 5 3 で分けられた光パワーの小さい方の WDM 方式光信号は、P D 5 7 に入射され、光電変換される。P D 5 7 は、この光電変換された電流を演算器 5 8 に出力する。

演算器 5 8 は、P D 5 4 および P D 5 7 からの電流をそれぞれ抵抗器 (図 1 1 に不図示) を用いて電圧に変換した後に P D 5 4 による電圧と P D 5 7 による電圧とを比較し、その差分に応じた出力を L D 駆動回路 5 6 に出力する。L D 駆動

回路 5 6 は、この演算器 5 6 からの出力によって T D F 5 2 で増幅される W D M 方式光信号の利得を判断し、その利得が所定の一定値となるように L D 5 5 への駆動電流を調整する。この所定の一定値の変更は、P D 5 4 および P D 5 7 からの電流を電圧に変換する前述の各抵抗器間における抵抗値の比率を調整することにより行うことができる。

## 【0 1 4 1】

ここで、カプラ 3 7-1 および P D 5 4 は、T D F 5 2 の利得を一定にするために T D F 5 2 に入射される W D M 方式光パワーを検出する機能と前段の中継装置の監視制御回路へこの中継装置に伝送されてきた W D M 方式光信号の光パワーを送信するためにその光パワーを検出する機能との両機能を兼ねている。また、P D 5 4 および A / D 7 3 が、図 1 0 に示す光パワーメータ 3 6-1 に相当する。

## 【0 1 4 2】

一方、カプラ 5 3 で分けられた光パワーの大きい方の W D M 方式光信号は、光可変減衰器（以下、「V A T」と略記する。）5 9 に射出される。V A T 5 9 は、入射される光の光パワーを減衰して射出する。そして、その減衰量を可変にすることができる。この減衰量の調整は、後述する V A T 駆動回路 7 0 によって制御される。

## 【0 1 4 3】

V A T 5 9 で、光パワーを減衰された W D M 方式光信号は、波長分散を補償する分散補償器（dispersion compensator、以下、「D C」と略記する。）6 0 に入射される。D C 6 0 としては、分散補償ファイバ、分散補償グレーティングなどを適用することができる。この D C 6 0 は、前段の中継装置とこの中継装置との間の光ファイバによる波長分散を補償するとともに、この中継装置と次段の中継装置との間の光ファイバによる波長分散を補償する。すなわち、中継装置間の光ファイバによる波長分散は、一方の中継装置のみで補償されるのではなく、両中継装置に分担させて補償される。

## 【0 1 4 4】

D C 6 0 を射出された W D M 方式光信号は、T D F 6 2 に入射される。T D F 6 2 は、上述と同様に L D 6 5 からのレーザ光を吸収することにより、入射され

たWDM方式光信号を増幅する。LD 6 5は、LD駆動回路 6 6から供給される駆動電流によってまず半導体レーザをレーザ発振させ、この発振したレーザ光によってさらに固体レーザを発振させて、TDF 6 2を励起するレーザ光を射出する。

【0 1 4 5】

TDF 6 2で増幅されたWDM方式光信号は、光を4つに分けるカプラ 6 3に入射される。

カプラ 6 3で分けられた第1のWDM方式光信号は、帯域通過フィルタであるファイバグレーティングフィルタ（以下、「FBG」と略記する。）7 6を介してPD 6 4に入射され、光電変換される。FBG 7 6は、 $S^+$  - b a n dのWDM方式光信号のうちのチャンネルs、すなわち、そのバンド内で最長波長のチャンネルの光のみ通過するように通過帯域の中心波長を設定する。したがって、PD 6 4で光電変換された電流値は、バンド内で最長波長のチャンネルの光パワーに相当する。PD 6 4は、この光電変換された電流を後述する演算器 6 8に出力する。

【0 1 4 6】

カプラ 6 3で分けられた第2のWDM方式光信号は、FBG 7 7を介してPD 6 7に入射され、光電変換される。FBG 7 7は、 $S^+$  - b a n dのWDM方式光信号のうちのチャンネル1、すなわち、そのバンド内で最短波長のチャンネルの光のみ通過するように通過帯域の中心波長を設定する。したがって、PD 6 7で光電変換された電流値は、バンド内で最短波長のチャンネルの光パワーに相当する。PD 6 7は、この光電変換された電流を演算器 6 8に出力する。

【0 1 4 7】

カプラ 6 3で分けられた第3のWDM方式光信号は、PD 6 1に入射され、光電変換される。PD 6 1で光電変換された電流値は、TDF A 3 2で増幅されて射出される $S^+$  - b a n dのWDM方式光信号の光パワーに相当し、PD 6 1は、この電流を後述する演算器 7 1に出力する。

カプラ 6 3で分けられた第4のWDM方式光信号は、WDMカプラ 3 5に入射される。ここで、第4のWDM方式光信号が次段の中継装置に伝送される光信号となるから、その光パワーをカプラ 6 3で分けられる第1ないし第3のWDM方

式光信号における光パワーよりも、大きくなるようにする。

【0 1 4 8】

演算器 6 8 は、P D 6 4 および P D 6 7 からの電流をそれぞれ抵抗器（図 1 1 に不図示）を用いて電圧に変換した後に P D 5 4 による電圧と P D 5 7 による電圧とを比較し、その差分に応じた出力を L D 駆動回路 6 6 に出力する。L D 駆動回路 6 6 は、この演算器 6 8 からの出力によって T D F 6 2 で増幅される WDM 方式光信号の利得傾斜を判断し、その利得傾斜がなくなるように L D 5 5 への駆動電流を調節し、T D F 6 2 の利得波長特性を補償する。

【0 1 4 9】

また、監視制御回路 3 8 は、次段の中継装置の監視制御回路からこの中継装置から伝送された 3 波長帯域 WDM 方式光信号の各バンドの光パワーを受信する。

監視制御回路 3 8 は、受信した信号から伝送後の各バンド間における光パワーの差分を計算する。監視制御回路 3 8 は、監視制御回路内の R O M 5 1 に蓄積された送信光パワー受信光パワー対応テーブルを参照して、この差分の値からこの中継装置から射出される  $S^{+}$  - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーの目標値を算出する。

【0 1 5 0】

この送信光パワー受信光パワー対応テーブルは、この中継装置から射出される WDM 方式光信号の光パワーと次段の中継装置に入射される WDM 方式光パワーとの関係がこの中継装置と次段の中継装置間における光ファイバの誘導ラマン散乱、この光ファイバの損失およびこの中継装置の WDM カプラ 3 5 と次段の中継装置の WDM カプラ 3 1 との損失に基づいて理論計算または実測によって予め各バンドごとに作成された対応テーブルである。

【0 1 5 1】

監視制御回路 3 8 は、R O M 7 4 に蓄積されるこの目標値と V A T 駆動回路 7 0 の制御値との関係から、この目標値を V A T 駆動回路 7 0 の制御値に変換し、デジタルアナログコンバータ（以下、「D/A」と略記する。）7 2 にこの制御値を出力する。D/A 7 2 は、制御値をデジタル値からアナログ値に変換し、演算器 7 1 に出力する。

## 【0 1 5 2】

演算器 7 1 は、D/A 7 2 からの出力と PD 6 7 からの電流を抵抗器（図 1 1 に不図示）を用いて電圧に変換した後の電圧とを比較し、その差分に応じた出力を V A T 駆動回路 7 0 に出力する。V A T 駆動回路 7 0 は、この演算器 7 1 からの出力によって V A T 5 9 の減衰量を調整することによりこの中継装置から射出される  $S^+$  - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーを制御値に調整する。

## 【0 1 5 3】

PD 5 4、5 7、6 1、6 4、6 7 は、受光した光の光パワーに従う電流を出力するホトダイオードである。

ここで、EDFA 3 3 は、上述の TDA 5 2 をエルビウム元素を添加した光ファイバに代えたとともに LD 5 5 を半導体レーザに代えて構成する。このとき、分散補償ファイバ 6 0、演算器 5 8、6 8、7 1 の諸設定および ROM 7 4 の内容は、C - b a n d の WDM 方式光信号の場合に合わせる。

## 【0 1 5 4】

また、GS-EDFA 3 4 は、上述の TDA 5 2 を長尺のエルビウム元素を添加した光ファイバに代えたとともに LD 5 5 を半導体レーザに代えて構成する。このとき、分散補償ファイバ 6 0、演算器 5 8、6 8、7 1 の諸設定および ROM 7 4 の内容は、L - b a n d の WDM 方式光信号の場合に合わせる。

なお、1 5 5 0 n m 波長帯域を増幅する EDFA 3 3 と 1 5 8 0 n m 波長帯域を増幅する GS-EDFA 3 4 との相違は、エルビウム元素を添加した光ファイバの長さの相違にある。元々、エルビウム添加光ファイバは、1 5 5 0 n m 波長帯域と 1 5 8 0 n m 波長帯域とに増幅域を有するが、1 5 8 0 n m 波長帯域の増幅率が 1 5 5 0 n m 波長帯域の増幅率に較べ小さいので、1 5 8 0 n m 波長帯域での光増幅を同程度に実現するためには、1 5 5 0 n m 波長帯域の光ファイバ増幅器に較べ光ファイバ長を 1 0 倍程度長尺化する必要があるからである。

## 【0 1 5 5】

また、図 1 1 を用いて複合光増幅装置の構成について詳述したが、図 1 0 における 3 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置の構成もこれに類似した構成である。

両構成の対応関係は、WDM カプラ 2 1 -1 から射出される  $S^+$  - b a n d の W



DM方式光信号はWDMカプラ 3 1 から射出される  $S^+$  - b a n d のWDM方式光信号に対応し、WDMカプラ 2 1 -2 から射出される C - b a n d のWDM方式光信号はWDMカプラ 3 1 から射出される C - b a n d のWDM方式光信号に対応し、WDMカプラ 2 1 -3 から射出される L - b a n d のWDM方式光信号はWDMカプラ 3 1 から射出される L - b a n d のWDM方式光信号に対応する。そして、T D F A 2 2 は T D F A 3 2 に対応し、E D F A 2 3 は E F D A 3 3 に対応し、G S - E D F A 2 4 は、G S - E D F A 3 4 に対応する。さらに、WDMカプラ 2 5 はWDMカプラ 3 5 に対応し、カプラ 2 7 -1 ~ 2 7 -3 はカプラ 3 7 -1 ~ 3 7 -3 に対応し、光パワーメータ 2 6 -1 ~ 2 6 -3 は光パワーメータ 3 6 -1 ~ 3 6 -3 に対応する。

【0 1 5 6】

なお、以下の説明において、上述の対応関係の下に図 1 1 を用いて 3 波長帯域 WDM方式光信号送信装置の構成を指す場合には、各構成の符号に「os」の添え字をさらに加えて表示する。例えば、T D F A 2 2 内の V A T は、「V A T 5 9 os」である。したがって、「T D F 5 2 os」は、T D F A 2 2 内の T D F を示し、「T D F 5 2」は、T D F A 3 2 内の T D F を示す。

【0 1 5 7】

(本発明と第 1 の実施形態との対応関係)

以下、本発明と第 1 の実施形態との対応関係について説明する。

請求項 1 ないし請求項 5、請求項 7、請求項 9、請求項 1 2、請求項 1 4、請求項 1 6 および請求項 1 8 に記載の発明と第 1 の実施形態との対応関係については、波長分波手段はWDMカプラ 3 1 に対応し、光増幅手段は T D F A 3 2、E D F A 3 3、G S - E D F A 3 4 に対応し、制御手段は監視制御回路 3 8 に対応し、波長多重手段はWDMカプラ 3 5 に対応する。

【0 1 5 8】

請求項 2 0 ないし請求項 2 7 に記載の発明と第 1 の実施形態との対応関係については、光信号生成手段は光信号生成部 2 0 に対応し、光増幅手段は T D F A 2 2、E D F A 2 3、G S - E D F A 2 4 に対応し、制御手段は監視制御回路 2 8 に対応し、波長多重手段はWDMカプラ 2 5 に対応する。

請求項 2 8 に記載の発明と第 1 の実施形態との対応関係については、光送信装置は光信号生成部 2 0、WDM カプラ 2 1、T D F A 2 2、E D F A 2 3、G S - E D F A 2 4、WDM カプラ 2 5、光パワーメータ 2 6、カプラ 2 7 および監視制御回路 2 8 に対応し、光伝送路は光ファイバ 4 8 に対応し、光受信装置は WDM カプラ 4 1、T D F A 4 2、E D F A 4 3、G S - E D F A 4 4、WDM カプラ 4 5 および光信号受信部 4 6 に対応する。そして、光増幅装置は WDM カプラ 3 1、T D F A 3 2、E D F A 3 3、G S - E D F A 3 4、WDM カプラ 3 5、光パワーメータ 3 6、カプラ 3 7 および監視制御回路 3 8 に対応する。なお、光パワーメータ 3 6 およびカプラ 3 7 は、次段の中継機内に備えられる。

【 0 1 5 9 】

請求項 3 0 に記載の発明と第 1 の実施形態との対応関係については、光増幅手段は T D F A 3 2、E D F A 3 3、G S - E D F A 3 4 に対応する。

(第 1 の実施形態の作用効果)

次に、このような構成の光伝送システムにおける中継装置である複合光増幅装置の作用効果について説明する。

【 0 1 6 0 】

前段の中継装置から伝送された 3 波長帯域 WDM 方式光信号は、WDM カプラ 3 1 で各バンドごとに分離される。各バンドの WDM 方式光信号は、同じ作用効果であるので、 $S^{+} - b a n d$  の WDM 方式光信号の作用効果について説明する。

分離した  $S^{+} - b a n d$  の WDM 方式光信号は、T D F 5 2 で所定の利得に増幅される。このとき、P D 5 4 と P D 5 7 とで T D F 5 2 の前後における  $S^{+} - b a n d$  の WDM 方式光信号の光パワーを検出し、演算器 5 8 がこの検出結果に応じて L D 駆動回路 5 6 を制御することにより T D F 5 2 の励起光の光パワーを調整するから、一定の所定の利得にほぼ維持される。T D F 5 2 の利得は、励起光の光パワーに依存するので、このように T D F 5 2 の励起光の光パワーを調整することにより、一定の所定の利得に維持することができる。

【 0 1 6 1 】

所定の利得に増幅された  $S^{+} - b a n d$  の WDM 方式光信号は、V A T 5 9 で

その光パワーを減衰される。

このとき、演算器 71 は、PD 61 からの出力と D/A 72 からの出力との差がなくなるように VAT 59 の減衰量を調整する。ここで、PD 61 の出力は、この中継装置から次段の中継装置へ実際に射出される  $S^+$  - band の WDM 方式光信号の光パワーに相当する。一方、D/A 72 からの出力は、次段の中継装置において各バンドの光パワーを同一にすべくこの中継装置から次段の中継装置へ射出すべき  $S^+$  - band の WDM 方式光信号の光パワーの制御値である。このため、VAT 59 の減衰量は、上述のように調整されるので、次段の中継装置において各バンドの光パワーをほぼ同一にすることができる。

#### 【0162】

そして、VAT 59 から射出された  $S^+$  - band の WDM 方式光信号は、DC 60 で分散補償され、TDF 62 で  $S^+$  - band 内の利得傾斜を調整される。このとき、PD 64 と PD 67 とで TDF 62 の前後における  $S^+$  - band の WDM 方式光信号の利得傾斜を検出し、演算器 68 は、この検出結果に応じて LD 駆動回路 66 を制御することにより TDF 62 の励起光の光パワーを調整するから、 $S^+$  - band 内の利得傾斜をほぼなくすことができる。TDF 62 の利得波長特性は、励起光の光パワーに依存するので、このように TDF 62 の励起光の光パワーを調整することにより、利得傾斜をほぼなくすことができる。

#### 【0163】

このように TDF 52、62 の 2 段になっているのは、TDF の利得と利得波長特性とがともに励起光の光パワーに依存するため、利得と利得傾斜とを 1 つの TDF で制御できないためである。

したがって、第 1 の実施形態の光伝送システムは、各中継装置区間ごとにおいて、TDF A 32、EDFA 33 および GS-EDFA 34 それぞれの内における希土類元素添加光ファイバの 2 段構成により各波長帯域内の利得傾斜をほぼなくすことができる。さらに、第 1 の実施形態の光伝送システムは、TDF A 32、EDFA 33 および GS-EDFA 34 それぞれの内における VAT により各バンドにプリアンファシスを設けるから、次段の中継装置において 3 波長帯域間の利得傾斜をほぼなくすことができる。

## 【0164】

次に、このような構成の光伝送システムにおける3波長帯域WDM方式光信号送信装置の作用効果について説明する。なお、WDMカプラ21から射出される各バンドのWDM方式光信号は、同じ作用効果であるので、 $S^+$ -bandのWDM方式光信号の作用効果について説明する。

WDMカプラ21-1から射出された $S^+$ -bandのWDM方式光信号は、TDF52osで所定の利得に増幅される。このとき、PD54osとPD57osとでTDF52osの前後における $S^+$ -bandのWDM方式光信号の光パワーを検出し、演算器58osがこの検出結果に応じてLD駆動回路56osを制御することによってTDF52osの励起光の光パワーを調整するから、一定の所定の利得にほぼ維持される。

## 【0165】

所定の利得に増幅された $S^+$ -bandのWDM方式光信号は、VAT59osでその光パワーを減衰される。

このとき、演算器71osは、PD61osからの出力とD/A72osからの出力との差がなくなるようにVAT59osの減衰量を調整する。ここで、PD61osの出力は、この3波長帯域WDM方式光信号送信装置から最初の中継装置へ実際に射出される $S^+$ -bandのWDM方式光信号の光パワーに相当する。D/A72osからの出力は、最初の中継装置において各バンドの光パワーを同一にすべくこの3波長帯域WDM方式光信号送信装置から最初の中継装置へ射出すべき $S^+$ -bandのWDM方式光信号の光パワーの制御値である。このため、VAT59osの減衰量は、上述のように調整されるので、次段の中継装置において各バンドの光パワーをほぼ同一にすることができる。

## 【0166】

そして、VAT59osから射出された $S^+$ -bandのWDM方式光信号は、DC60osで分散補償され、TDF62osで $S^+$ -band内の利得傾斜を調整される。このとき、PD64osとPD67osとでTDF62osの前後における $S^+$ -bandのWDM方式光信号の利得傾斜を検出し、演算器68osは、この検出結果に応じてLD駆動回路66osを制御することによってTDF62osの励起

光の光パワーを調整するから、 $S^{+}$  - b a n d 内の利得傾斜をほぼなくすることができる。

【0 1 6 7】

したがって、第 1 の実施形態の光伝送システムは、3 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置と最初の中継装置との区間において、T D F A 2 2、E D F A 2 3 および G S - E D F A 2 4 それぞれの内における希土類元素添加光ファイバの 2 段構成により各波長帯域内の利得傾斜をほぼなくすることができる。さらに、第 1 の実施形態の光伝送システムは、T D F A 3 2、E D F A 3 3 および G S - E D F A 3 4 それぞれの内における V A T により各バンドにプリアンファシスを設けるから 3 波長帯域間の利得傾斜をほぼなくすることができる。

【0 1 6 8】

このように、各中継装置ごとに 3 波長帯域間の利得傾斜がほぼなくなるから、各バンド間において受信された WDM 方式光信号の S N R が均一化され、光伝送システム全体の性能を向上することができる。

ここで、上述の第 1 の構成においては、監視制御回路 2 8、3 8 は、誘導ラマン散乱、光ファイバ 4 8 の損失および WDM カプラ 2 5、3 5 の損失を考慮して T D F A 2 2、3 2、E D F A 2 3、3 3 および G S - E D F A 2 4、3 4 の出力を調整したが、図 1 1 に破線で示すように装置内（複合光増幅装置または 3 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置）に雑音指数に関するデータを蓄積した R O M 7 5 をさらに設け、監視制御回路 3 8 は、このデータを参照して各出力を調整するようにしてもよい。

【0 1 6 9】

この場合における雑音指数に関するデータは、T D F A 2 2、3 2、E D F A 2 3、3 3、G S - E D F A 2 4、3 4 のそれぞれに対して、励起光源である L D 5 5、6 6 のレーザ光の光パワーごとの雑音指数波長特性である。

また、監視制御回路 3 8 は、R O M 7 5 に蓄積されたこの雑音指数波長特性を参照して、R O M 5 1 に蓄積された送信光パワー-受信光パワー対応テーブルを参照して計算された目標値を修正する。そして、監視制御回路 3 8 は、この修正された目標値を R O M 7 4 に出力する。

## 【0 1 7 0】

このような雑音指数を考慮した構成は、請求項 4、請求項 8、請求項 1 2 および請求項 1 5 に記載の発明に対応する。

また、上述の第 1 の構成において、監視制御回路 3 8 は、中継装置から伝送される各波長帯域の光パワーと次段の中継装置における各波長帯域の光パワーとを比較して、中継装置から伝送される各波長帯域の光パワーを調整したが、カプラ 2 7 と P D 5 4 との間にバンド内で最短波長のチャンネルの光のみ通過するように通過帯域の中心波長を設定された F B G をさらに設け、P D 6 1 の代わりに P D 7 7 から演算器 7 1 に出力するようにしてもよい。これにより、部品点数を減らし回路を簡単にすることができる。さらに、ROM 7 5 を設けてもよい。

## 【0 1 7 1】

このような最短波長のチャンネルの光パワーのみを検出して T D F A 2 2、3 2、E D F A 2 3、3 3、G S - E D F A 2 4、3 4 の各出力を調整する構成は、請求項 9、請求項 1 0、請求項 1 6 および請求項 1 7 に記載の発明に対応する。

次に、別の実施形態について説明する。

## (第 2 の実施形態の構成)

第 2 の実施形態は、請求項 1 ないし請求項 2 8、および、請求項 3 0 に記載の発明に対応する光伝送システムの実施形態である。

## 【0 1 7 2】

この光伝送システムは、2 波長帯域 WDM 方式光信号を 2 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置で生成して、この光信号を複合光増幅装置で多段中継し、WDM 方式光信号受信装置で受信・処理するものである。この 2 波長帯域 WDM 方式光信号は、C - b a n d の波長帯域に設定されたチャンネル数  $t$  の WDM 方式光信号と L - b a n d の波長帯域に設定されたチャンネル数  $u$  の WDM 方式光信号とからなる。

## 【0 1 7 3】

図 1 2 は、第 2 の実施形態における光伝送システムの全体構成を示す図である。なお、第 1 の実施形態と同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

図 1 2 において、 $t$  個の光信号生成部 8 0 -1 ~ 8 0 - $t$  は、C - b a n d のチャンネル 1 からチャンネル  $t$  に対応する光信号を各々生成する。これら光信号生成部 8 0 -1 ~ 8 0 - $t$  は、それぞれ、例えば、チャンネルに割り当てられた波長のレーザ光を発振する半導体レーザとこのレーザ光を送信すべき情報で変調する M Z とこれら半導体レーザおよび M Z を駆動・制御する制御部とで構成することができる。また、各光信号生成部 8 0 -1 ~ 8 0 - $t$  は、後述する監視制御回路 8 2 からの制御信号によって光信号を生成するか否かを制御される。

【 0 1 7 4 】

これら光信号生成部 8 0 -1 ~ 8 0 - $t$  で生成された光信号は、WDM カプラ 2 1 -2 で WDM 方式光信号に波長多重されて、E D F A 2 3 に入射される。E D F A 2 3 は、監視制御回路 8 2 によって出力が制御され、その結果、この C - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーが制御される。光パワーを制御された C - b a n d の WDM 方式光信号は、WDM カプラ 2 5 に入射される。

【 0 1 7 5 】

そして、L - b a n d の WDM 方式光信号は、 $u$  個の光信号生成部 8 0 - $t+1$  ~ 8 0 - $t+u$ 、WDM カプラ 2 1 -3 および G S - E D F A 2 4 からなる上述と同様の構成により生成され、WDM カプラ 2 5 に入射される。

これら WDM カプラ 2 5 に入射した、C - b a n d の WDM 方式光信号と L - b a n d の WDM 方式光信号とは、この WDM カプラ 2 5 で波長多重され、2 波長帯域 WDM 方式光信号となって光伝送路である光ファイバ 4 8 -1 に射出され、次段の中継装置に伝送される。

【 0 1 7 6 】

光ファイバ 4 8 -1 は、次段の中継装置内の WDM カプラ 8 4 A に接続される。光ファイバ 4 8 -1 を伝送して WDM カプラ 8 4 A に入射された 2 波長帯域 WDM 方式光信号は、WDM カプラ 8 4 A で各バンドに波長分離され、それぞれカプラ 2 7 -2、2 7 -3 に入射される。

また、励起光源 8 6 A は、レーザ光を発振する L D とこの L D を駆動する電流を供給する駆動回路とこの駆動回路を制御することによってレーザ光を所定の波長および所定の光パワーに維持する制御回路とから構成され、このレーザ光は、

WDMカプラ 8 4 A を介して光ファイバ 4 8 -1 に射出される。この所定の波長は、C - b a n d の WDM 方式光信号と L - b a n d の WDM 方式光信号とを光ファイバ 4 8 -1 内において誘導ラマン散乱により増幅できる波長に設定される。また、所定の光パワーは、WDMカプラ 8 4 A で C - b a n d の WDM 方式光信号と L - b a n d の WDM 方式光信号とに生じる損失を光ファイバ 4 8 -1 内の誘導ラマン散乱で補うことができる光パワーに設定される。

【 0 1 7 7 】

なお、WDMカプラ 8 4 A の損失を誘導ラマン散乱による増幅で補う場合に、図 3 ( b ) および ( d ) に示すように、誘導ラマン散乱による増幅と WDMカプラ 8 4 A の損失とは、波長依存性を有することを考慮しなければならない。

【 0 1 7 8 】

カプラ 2 7 -2 に入射された C - b a n d の WDM 方式光信号は、このカプラ 2 7 -2 でさらに分けられ、光パワーメータ 2 6 -2 と E D F A 3 3 A とに入射される。C - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーに関し光パワーメータ 2 6 -2 で計測された計測結果は、前段の監視制御回路 8 2 に送信される。

そして、カプラ 2 7 -3 に入射された L - b a n d の WDM 方式光信号は、同様に、カプラ 2 7 -3 でさらに分けられ、光パワーメータ 2 6 -3 と G S - E D F A 3 4 A とに入射される。L - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーに関し光パワーメータ 2 6 -3 で計測された計測結果は、前段の監視制御回路 8 2 に送信される。

【 0 1 7 9 】

監視制御回路 8 2 は、これら光パワーメータ 2 6 -2、2 6 -3 の出力を受信し、各バンドの光パワーの差を算出して、この差がなくなるように各バンドを増幅する E D F A 2 3 および G S - E D F A 2 4 の出力をそれぞれ調節する。

一方、E D F A 3 3 A に入射した C - b a n d の WDM 方式光信号は、E D F A 3 3 A で増幅され、WDMカプラ 3 5 A に入射される。E D F A 3 3 A は、後述する監視制御回路 8 5 A によって出力が制御され、その結果、この C - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーが制御される。

【 0 1 8 0 】



そして、GS-EDFA34Aに入射したL-bandのWDM方式光信号は、監視制御回路85Aにより出力を制御されるGS-EDFA34Aで増幅され、WDMカプラ35Aに入射される。

このWDMカプラ35Aに入射した各バンドのWDM方式光信号は、このWDMカプラ35Aで波長多重されて再び2波長帯域WDM方式光信号となって、光ファイバ48-2に射出され、次段の中継装置に伝送される。

【0181】

光ファイバ48-2は、次段の中継装置内のWDMカプラ84Bに接続される。光ファイバ48-2を伝送してWDMカプラ84Bに入射された2波長帯域WDM方式光信号は、WDMカプラ84Bで各バンドに波長分離され、それぞれカプラ37A-2、37A-3に入射される。

【0182】

また、励起光源86Bは、レーザ光を発振するLDとこのLDを駆動する電流を供給する駆動回路とこの駆動回路を制御することによってレーザ光を所定の波長および所定の光パワーに維持する制御回路とから構成され、このレーザ光は、WDMカプラ84Bを介して光ファイバ48-2に射出される。

カプラ37A-2に入射されたC-bandのWDM方式光信号は、このカプラ37A-2でさらに分けられ、光パワーメータ36A-2とEDFA33Bとに入射される。C-bandのWDM方式光信号の光パワーに関し光パワーメータ36A-2で計測された計測結果は、前段の監視制御回路85Aに送信される。

【0183】

そして、カプラ37A-3に入射されたL-bandのWDM方式光信号は、同様に、カプラ37A-3でさらに分けられ、光パワーメータ36A-3とGS-EDFA34Bとに入射される。L-bandのWDM方式光信号の光パワーに関し光パワーメータ36A-3で計測された計測結果は、前段の監視制御回路85Aに送信される。

【0184】

監視制御回路85Aは、これら光パワーメータ36A-2、36A-3の出力を受信し、各バンドの光パワーの差を算出して、この差がなくなるように各バンドを

増幅する E D F A 3 3 A および G S - E D F A 3 4 B の出力をそれぞれ調節する。

一方、E D F A 3 3 B に入射した C - b a n d の W D M 方式光信号は、E D F A 3 3 B で増幅され、W D M カプラ 3 5 B に入射される。E D F A 3 3 B は、後述する監視制御回路 8 5 B によって出力が制御され、その結果、この C - b a n d の W D M 方式光信号の光パワーが制御される。

【0 1 8 5】

そして、G S - E D F A 3 4 B に入射した L - b a n d の W D M 方式光信号は、監視制御回路 8 5 B により出力を制御される G S - E D F A 3 4 B で増幅され、W D M カプラ 3 5 B に入射される。

【0 1 8 6】

この W D M カプラ 3 5 B に入射した各バンドの W D M 方式光信号は、この W D M カプラ 3 5 B で波長多重されて再び 2 波長帯域 W D M 方式光信号となって、光ファイバ 4 8 -3 に射出され、次段の中継装置に伝送される。

以下、同様に、2 波長帯域 W D M 方式光信号は、各バンドごとに分波、光パワーの増幅・制御および波長多重されて、多段中継される。この各バンドごとの光パワーの増幅・制御は、上述のように、次段の複合光増幅装置内の光パワーメータ 3 6 -2、3 6 -3 の出力に基づいて制御される E D F A 3 3、G S - E D F A 3 4 によってそれぞれ調節される。

【0 1 8 7】

最後の中継装置である複合光増幅装置からの 2 波長帯域 W D M 方式光信号は、W D M カプラ 4 1 に入射され、この W D M カプラ 4 1 で各バンドに波長分離され、それぞれカプラ 3 6 Z-2、3 6 Z-3 に入射される。

カプラ 3 7 Z-2 に入射された C - b a n d の W D M 方式光信号は、このカプラ 3 7 Z-2 でさらに分けられ、光パワーメータ 3 6 Z-2 と E D F A 4 3 とに入射される。C - b a n d の W D M 方式光信号の光パワーに関し光パワーメータ 3 6 Z-2 で計測された計測結果は、前段の監視制御回路 8 5 Z に送信される。

【0 1 8 8】

そして、カプラ 3 7 Z-3 に入射された L - b a n d の W D M 方式光信号は、同

様に、カプラ 3 7 Z-3 でさらに分けられ、光パワーメータ 3 6 Z-3 と G S - E D F A 4 4 とに入射される。L - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーに関し光パワーメータ 3 6 Z-3 で計測された計測結果は、前段の監視制御回路 8 5 Z に送信される。

【0 1 8 9】

E D F A 4 3 で増幅された C - b a n d の WDM 方式光信号は、WDM カプラ 4 5 -2 に入射され、チャンネル 1 からチャンネル t までチャンネルごと波長分離される。波長分離された各チャンネルの光信号は、それぞれ光信号受信部 8 7 -1 ~ 8 7 -t に射出され、受信・処理される。

そして、G S - E D F A 4 4 で増幅された L - b a n d の WDM 方式光信号は、同様に、WDM カプラ 4 5 -3 で、チャンネル 1 からチャンネル u までチャンネルごと波長分離される。波長分離された各チャンネルの光信号は、それぞれ光信号受信部 8 7 -t+1 ~ 8 7 -t+u に射出され、受信・処理される。

【0 1 9 0】

E D F A 2 3、3 3 および G S - E D F A 2 4、3 4 の構成は、R O M 5 1 o s、5 1 の内容および監視制御回路 8 2、8 5 の制御内容を除き、第 1 の実施形態と同様なので、その説明を省略する。

この R O M 5 1 o s、5 1 の内容は、次段の中継装置において両バンドの光パワーをほぼ同一にするために、中継装置から射出される C - b a n d の WDM 方式光信号のチャンネル数が  $k$  ( $0 \leq k \leq t - 1$ ) だけ増加した場合に C - b a n d の WDM 方式光信号における 1 チャンネル当たりの光パワーの減少量および中継装置から射出される C - b a n d の WDM 方式光信号のチャンネル数が  $k$  ( $1 \leq k \leq t - 1$ ) だけ減少した場合に C - b a n d の WDM 方式光信号における 1 チャンネル当たりの光パワーの増加量である。

【0 1 9 1】

これら各場合における増減量は、この中継装置と次段の中継装置間における光ファイバの誘導ラマン散乱、この光ファイバの損失およびこの中継装置の WDM カプラ 3 5 と次段の中継装置の WDM カプラ 3 1 との損失を考慮した上で、 $k$  の値別に理論計算または実測によって予め作成される。

なお、 $k = 0$ の場合に対する L - b a n d の WDM方式光信号における 1 チャネル当たりの光パワーの増減量は、チャネル数に変更がない場合であるから、第 1 の実施形態における送信光パワー受信光パワー対応テーブルの内容と同じである。

【0 1 9 2】

(本発明と第 2 の実施形態との対応関係)

以下、本発明と第 2 の実施形態との対応関係について説明する。

請求項 1 ないし請求項 1 9 に記載の発明と第 2 の実施形態との対応関係については、波長分波手段は WDM カプラ 8 4 に対応し、光増幅手段は E D F A 3 3 および G S - E D F A 3 4 に対応し、制御手段は監視制御回路 8 5 に対応し、波長多重手段は WDM カプラ 3 5 に対応する。特に、請求項 6、請求項 8、請求項 1 1、請求項 1 3、請求項 1 5、請求項 1 7 および請求項 1 9 に記載の発明における励起光源は励起光源 8 6 に対応する。

【0 1 9 3】

請求項 2 0 ないし請求項 2 7 に記載の発明と第 2 の実施形態との対応関係については、光信号生成手段は光信号生成部 8 0 に対応し、光増幅手段は E D F A 2 3 および G S - E D F A 2 4 に対応し、制御手段は監視制御回路 8 2 に対応し、波長多重手段は WDM カプラ 2 5 に対応する。

請求項 2 8 に記載の発明と第 2 の実施形態との対応関係については、光送信装置は光信号生成部 8 0、WDM カプラ 2 1、E D F A 2 3、G S - E D F A 2 4、WDM カプラ 2 5、光パワーメータ 2 6、カプラ 2 7 および監視制御回路 8 2 に対応し、光伝送路は光ファイバ 4 8 に対応し、光受信装置は WDM カプラ 4 1、E D F A 4 3、G S - E D F A 4 4、WDM カプラ 4 5 および光信号受信部 8 7 に対応する。そして、光増幅装置は WDM カプラ 8 4、E D F A 3 3、G S - E D F A 3 4、WDM カプラ 3 5、光パワーメータ 3 6、カプラ 3 7、励起光源 8 6 および監視制御回路 8 5 に対応する。なお、光パワーメータ 3 6 およびカプラ 3 7 は、次段の中継機内に備えられる。

【0 1 9 4】

請求項 3 0 に記載の発明と第 2 の実施形態との対応関係については、光増幅手

段はEDFA33およびGS-EDFA34に対応する。

(第2の実施形態の作用効果)

このような構成の光伝送システムの作用効果について説明する。なお、C-bandのチャンネル数が増減した後における各波長帯域内の利得傾斜の制御および各波長帯域間の利得傾斜の制御は、第1の実施形態と同様であるので、その説明を省略する。

【0195】

このような光伝送システムでC-bandのチャンネル数を $m$  ( $1 \leq m \leq t$ ) にする場合には、監視制御回路82は、 $m$ チャンネル分を光信号生成部80-1~80-mに割り当て、光信号生成部80-1~80-mに光信号を生成させる。

【0196】

生成された光信号は、WDMカプラ21-2で波長多重され、EDFA23で増幅される。増幅後、WDMカプラ25でL-bandの $u$ 波のWDM方式光信号と波長多重されて2波長帯域WDM方式光信号として光ファイバ48-1を伝送される。

このとき、2波長帯域WDM方式光信号は、励起光源86Aからの励起光により光ファイバ48-1中で誘導ラマン散乱を起こしWDMカプラ84Aの損失分を補われる。この励起光源86Aからの励起光は、両バンドに対して増幅作用を及ぼすものであるから、光ファイバ48-1を伝送後における各バンドの光パワーを同一にするためのものではない。

【0197】

この状態から、c-bandのチャンネル数を、例えば、3チャンネル増加させる場合には、監視制御回路82は、3チャンネルを新たに光信号生成部80-m~80-m+3に割り当て、光信号生成部80-1~80-m+3に光信号を生成させる。

生成された光信号は、WDMカプラ21-2で波長多重され、EDFA23で増幅される。

【0198】

このとき、監視制御回路82は、ROM510sからC-bandのWDM方式光信号のチャンネル数が3 ( $0 \leq k \leq t-1$ ) だけ増加した場合にC-bandの

WDM方式光信号における1チャンネル当たりの光パワーの減少量を参照して、EDFA23の出力を調整する。すなわち、チャンネル数が増加する前では、例えば、図5(a)に示すP0を基準に第1波長帯域の光パワーを送信光パワー受信光パワー対応テーブルを参照して、制御していたが、3チャンネル増加後は、P0から減少量だけ少ない光パワーを新たな基準にして制御を行う。

【0199】

そして、増幅後、WDMカプラ25でL-bandのu波のWDM方式光信号と波長多重されて2波長帯域WDM方式光信号として光ファイバ48-1を伝送される。

一方、チャンネル数が減少する場合には、前述と同様に、監視制御回路82は、ROM510sからチャンネル数の減少した場合の1チャンネル当たりの光パワーの増加量を参照して、新たな基準を調整すればよい。

このような制御されるため、第2の実施形態では、チャンネル数の増減に迅速に対応して各バンドにプリエンファシスを設けるから3波長帯域間の利得傾斜をほぼなくすることができる。

【0200】

このように、各中継装置ごとに3波長帯域間の利得傾斜がほぼなくなるから、各バンド間において受信されたWDM方式光信号のSNRが均一化され、光伝送システム全体の性能を向上することがきる。

次に、別の実施形態について説明する。

(第3の実施形態の構成)

第3の実施形態は、請求項29および請求項31に記載の発明に対応する光伝送システムの実施形態である。

【0201】

この光伝送システムは、2波長帯域WDM方式光信号を2波長帯域WDM方式光信号送信装置で生成して、この光信号を複合光増幅装置で多段中継し、WDM方式光信号受信装置で受信・処理するものである。この2波長帯域WDM方式光信号生成装置は、各波長帯域内においてWDM方式光信号間にプリエンファシスを施し、さらに、波長帯域間においてプリエンファシスを施す装置である。そし

て、複合光増幅装置は、光増幅しながら波長帯域間においてプリエンファシスを施す装置である。また、この2波長帯域WDM方式光信号は、C - b a n dの波長帯域に設定されたチャンネル数  $t$  のWDM方式光信号とL - b a n dの波長帯域に設定されたチャンネル数  $u$  のWDM方式光信号とからなる。

【0202】

図13は、第3の実施形態における光伝送システムの全体構成を示す図である。

図14は、第3の実施形態の光伝送システムにおける複合光増幅装置の構成を示す図である。

なお、第1の実施形態および第2の実施形態と同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0203】

図13において、 $t$  個の光信号生成部  $20-s+1 \sim 20-s+t$  は、C - b a n dのチャンネル1からチャンネル  $t$  に対応する光信号を各々生成する。これら光信号生成部  $20-s+1 \sim 20-s+t$  で生成された各光信号は、V A T 90-1 ~ 90- $t$  にそれぞれ入射される。

V A T 90-1 ~ 90- $t$  は、入射される光の光パワーを減衰して射出し、その減衰量を可変にすることができる。この減衰量の調整は、後述するV A T 駆動回路 91-1 ~ 91- $t$  によってそれぞれ制御される。そして、各V A T 駆動回路 91-1 ~ 91- $t$  の設定は、後述するV A T 制御回路 94によって設定される。

【0204】

C - b a n dの各光信号の光パワーは、各光信号に対応するV A T 90-1 ~ 90- $t$  のそれぞれによって調整されるから、波長帯域内においてプリエンファシスを施すことができる。

V A T 90-1 ~ 90- $t$  から光パワーをそれぞれ調整されて射出された各光信号は、WDMカプラ 21-2に入射され、このWDMカプラ 21-2で波長多重されてC - b a n dのWDM方式光信号になる。このC - b a n dのWDM方式光信号は、例えば、光パワーを10 : 1の割合で2つに分けるカプラ 92-2に入射される。

## 【0205】

カプラ92-2で分けられた光パワーの小さい方のC-band WDM方式光信号は、入射する光の波長とその波長における光パワーを検出するスペクトルアナライザ93-2に入射され、C-band WDM方式光信号のスペクトルが計測される。そして、スペクトルアナライザ93-2は、計測したスペクトルの結果をVAT制御回路94に出力される。

## 【0206】

一方、カプラ92-2で分けられた光パワーの大きい方のC-band WDM方式光信号は、EDFA23に入射される。EDFA23は、後述する監視制御回路95によって出力が制御され、その結果、さらに、このC-bandのWDM方式光信号の光パワーが制御される。光パワーを制御されたC-bandのWDM方式光信号は、WDMカプラ25に入射される。

## 【0207】

そして、L-bandのWDM方式光信号は、 $u$ 個の光信号生成部20-t+1~20-t+u、VAT90-t+1~90-t+u、VAT駆動回路90-t+1~90-t+u、WDMカプラ21-3、カプラ92-3、スペクトルアナライザ93-3、VAT制御回路94およびGS-EDFA24からなる上述と同様の構成により生成され、WDMカプラ25に入射される。

## 【0208】

これらWDMカプラ25に入射した、C-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とは、このWDMカプラ25で波長多重され、2波長帯域WDM方式光信号となって光伝送路である光ファイバ48-1に射出され、次段の中継装置に伝送される。

光ファイバ48-1は、次段の中継装置内のWDMカプラ31Aに接続される。光ファイバ48-1を伝送してWDMカプラ31Aに入射された2波長帯域WDM方式光信号は、WDMカプラ31Aで各バンドに波長分離され、それぞれカプラ27-2、27-3に入射される。

## 【0209】

カプラ27-2に入射されたC-bandのWDM方式光信号は、このカプラ2



7-2でさらに分けられ、光パワーメータ 2 6 -2 と E D F A 3 3 A とに入射される。C - b a n d の W D M 方式光信号の光パワーに関し光パワーメータ 2 6 -2 で計測された計測結果は、前段の監視制御回路 9 5 に送信される。

そして、カプラ 2 7 -3 に入射された L - b a n d の W D M 方式光信号は、同様に、カプラ 2 7 -3 でさらに分けられ、光パワーメータ 2 6 -3 と G S - E D F A 3 4 A とに入射される。L - b a n d の W D M 方式光信号の光パワーに関し光パワーメータ 2 6 -3 で計測された計測結果は、前段の監視制御回路 9 5 に送信される。

#### 【 0 2 1 0 】

監視制御回路 9 5 は、これら光パワーメータ 2 6 -2、2 6 -3 の出力を受信し、各バンドの光パワーの差を算出して、この差がなくなるように各バンドを増幅する E D F A 2 3 および G S - E D F A 2 4 の出力をそれぞれ調節する。

一方、E D F A 3 3 A に入射した C - b a n d の W D M 方式光信号は、E D F A 3 3 A で増幅され、W D M カプラ 3 5 A に入射される。E D F A 3 3 A は、監視制御回路 3 8 A によって出力が制御され、その結果、この C - b a n d の W D M 方式光信号の光パワーが制御される。

#### 【 0 2 1 1 】

そして、G S - E D F A 3 4 A に入射した L - b a n d の W D M 方式光信号は、監視制御回路 3 8 A により出力を制御される G S - E D F A 3 4 A で増幅され、W D M カプラ 3 5 A に入射される。

この W D M カプラ 3 5 A に入射した各バンドの W D M 方式光信号は、この W D M カプラ 3 5 A で波長多重されて再び 2 波長帯域 W D M 方式光信号となって、光ファイバ 4 8 -2 に射出され、次段の中継装置に伝送される。

#### 【 0 2 1 2 】

以下、複合光増幅装置による多段中継では、第 1 の実施形態において  $S^{+}$  - b a n d の W D M 方式光信号のない構成と同様に、2 波長帯域 W D M 方式光信号は、各バンドごとに分波、光パワーの増幅・制御および波長多重されて、多段中継される。この各バンドごとの光パワーの増幅・制御は、次段の複合光増幅装置内の光パワーメータ 3 6 -2、3 6 -3 の出力に基づいて制御される E D F A 3 3、G

S-EDFA 3 4 によってそれぞれ調節される。

【 0 2 1 3 】

最後の中継装置である複合光増幅装置からの 2 波長帯域 WDM 方式光信号は、WDM カプラ 4 1 に入射され、この WDM カプラ 4 1 で各バンドに波長分離され、それぞれカプラ 3 6 Z-2、3 6 Z-3 に入射される。

カプラ 3 7 Z-2 に入射された C-b a n d の WDM 方式光信号は、このカプラ 3 7 Z-2 でさらに分けられ、光パワーメータ 3 6 Z-2 と EDFA 4 3 とに入射される。C-b a n d の WDM 方式光信号の光パワーに関し光パワーメータ 3 6 Z-2 で計測された計測結果は、前段の監視制御回路 8 5 Z に送信される。

【 0 2 1 4 】

EDFA 4 3 で増幅された C-b a n d の WDM 方式光信号は、例えば、光パワーを 1 0 : 1 の割合で 2 つに分けるカプラ 9 6 -2 に入射される。

カプラ 9 2 -2 で分けられた光パワーの小さい方の C-b a n d WDM 方式光信号は、入射する光の波長とその波長における光パワーを検出するスペクトルアナライザ 9 7 -2 に入射され、C-b a n d WDM 方式光信号のスペクトルが計測される。そして、スペクトルアナライザ 9 7 -2 は、計測したスペクトルの結果を監視制御回路 9 5 に出力し、監視制御回路 9 5 は、この出力をそのまま V A T 制御回路 9 4 に出力する。

【 0 2 1 5 】

一方、カプラ 9 2 -2 で分けられた光パワーの大きい方の C-b a n d WDM 方式光信号は、WDM カプラ 4 5 -2 に入射され、チャンネル 1 からチャンネル t までチャンネルごと波長分離される。波長分離された各チャンネルの光信号は、それぞれ光信号受信部 4 6 -s+1 ~ 4 6 -s+t に射出され、受信・処理される。

そして、カプラ 3 7 Z-3 に入射された L-b a n d の WDM 方式光信号は、カプラ 3 7 Z-3、光パワーメータ 3 6 Z-3、GS-EDFA 4 4、カプラ 9 6 -3、スペクトルアナライザ 9 7 -3、WDM カプラ 4 5 -3 および光信号受信部 4 6 -s+t+1 ~ 4 6 -s+t+u からなる上述と同様の構成により、受信・処理される。

【 0 2 1 6 】

次に、複合光増幅装置の構成に詳述する。

複合光増幅装置における E D F A 3 3 および G S - E D F A 3 4 の構成は、第 1 の実施形態における構成に対し、これら光ファイバ増幅器の利得等化を行う T D F 6 2、F B G 7 6、7 7、P D 6 4、6 7、演算回路 6 8、L D 駆動回路 6 6 および L D 6 5 に代えて、光ファイバ増幅器の利得等化を行う光フィルタ 9 8 を用いる。

【0 2 1 7】

WDM方式光信号の最短波長の光信号と最長波長の光信号との利得傾斜を計測することによって E D F 7 8 の利得波長特性を等化する仕方では、この複合光増幅装置に入射される WDM方式光信号が波長帯域内のプリエンファスを施されているので、E D F 7 8 の利得波長特性を容易に等化することができないからである。

【0 2 1 8】

図 1 4 において、光ファイバ 4 8 を伝送することによって、前段の複合光増幅装置からの 2 波長帯域 WDM方式光信号は、WDMカプラ 3 1 に入射され、この WDMカプラ 3 1 で各バンドごとに波長分離される。分離された C - b a n d の WDM方式光信号は、E D F A 3 3 内のカプラ 3 7-2 に入射される。そして、分離された L - b a n d の WDM方式光信号は、G S - E D F A 3 4 内のカプラ 3 7-3 に入射される。

【0 2 1 9】

これら E D F A 3 3 および G S - E D F A 3 4 の各構成は、光を増幅する希土類元素添加光ファイバとこれを励起する励起光源が異なるだけで、同一の構成なので、E D F A 3 3 の構成について説明し、G S - E D F A 3 4 の構成については、その相違点のみを説明する。

以下、E D F A 3 3 について、説明する。

【0 2 2 0】

前述したように、カプラ 3 7-2 で分けられた光パワーの小さい方の WDM方式光信号は、P D 5 4 に入射され、光電変換される。P D 5 4 は、この光電変換された電流を後述する演算器 5 8 と A / D 7 3 とに出力する。A / D 7 3 は、入力された電流値をアナログ量からデジタル量に変換し、監視制御回路 3 8 に出力

する。監視制御回路 3 8 は、このデジタル量を光信号に変換して、前段の中継装置の監視制御回路に制御回線を使用して伝送する。

【0 2 2 1】

一方、カプラ 3 7-1 で分けられた光パワーの大きい方の WDM 方式光信号は、エルビウム添加光ファイバ（以下、「EDF」と略記する。）7 8 に入射される。

EDF 7 8 は、LD 5 5 からのレーザ光を吸収することにより反転分布を形成し、誘導放射により WDM 方式光信号を増幅する。LD 5 5 は、LD 駆動回路 5 6 から供給される駆動電流によって、EDF 7 8 を励起するレーザ光を射出する。

【0.2 2 2】

EDF 7 8 で増幅された WDM 方式光信号は、カプラ 5 3 に入射される。カプラ 5 3 で分けられた光パワーの小さい方の WDM 方式光信号は、PD 5 7 に入射され、光電変換される。PD 5 7 は、この光電変換された電流を演算器 5 8 に出力する。

演算器 5 8 は、PD 5 4 および PD 5 7 からの電流をそれぞれ抵抗器（図 1 4 に不図示）を用いて電圧に変換した後に PD 5 4 による電圧と PD 5 7 による電圧とを比較し、その差分に応じた出力を LD 駆動回路 5 6 に出力する。LD 駆動回路 5 6 は、この演算器 5 6 からの出力によって EDF 7 8 で増幅される WDM 方式光信号の利得を判断し、その利得が所定の一定値となるように LD 5 5 への駆動電流を調整する。

【0 2 2 3】

一方、カプラ 5 3 で分けられた光パワーの大きい方の WDM 方式光信号は、VAT 5 9 に射出される。VAT 5 9 は、その減衰量を VAT 駆動回路 7 0 によって制御され、入射される光の光パワーを減衰して射出する

VAT 5 9 で、光パワーを減衰された WDM 方式光信号は、DC 6 0 に入射され、分散補償される。

【0 2 2 4】

DC 6 0 を射出された WDM 方式光信号は、光フィルタ 9 8 に入射される。こ

の光フィルタ 9 8 は、E D F 7 8 の利得波長特性をほぼ平坦にする利得等化器である。

光フィルタ 9 8 から射出された WDM 方式光信号は、光を 2 つに分けるカプラ 9 9 に入射される。

【0 2 2 5】

カプラ 9 9 で分けられた一方の WDM 方式光信号は、P D 6 1 に入射され、光電変換される。P D 6 1 は、この電流を演算器 7 1 に出力する。カプラ 9 9 で分けられた他方の WDM 方式光信号は、WDM カプラ 3 5 に入射され、次段の中継装置に伝送される光信号となる。

また、監視制御回路 3 8 は、次段の中継装置の監視制御回路からこの中継装置から伝送された 2 波長帯域 WDM 方式光信号の各バンドの光パワーを受信する。

【0 2 2 6】

監視制御回路 3 8 は、受信した信号から伝送後の各バンド間における光パワーの差分を計算する。監視制御回路 3 8 は、監視制御回路内の R O M 5 1 に蓄積された送信光パワー受信光パワー対応テーブルを参照して、この差分の値からこの中継装置から射出される C - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーの目標値を算出する。

【0 2 2 7】

監視制御回路 3 8 は、R O M 7 4 に蓄積されるこの目標値と V A T 駆動回路 7 0 の制御値との関係から、この目標値を V A T 駆動回路 7 0 の制御値に変換し、D / A 7 2 にこの制御値を出力する。D / A 7 2 は、制御値をデジタル値からアナログ値に変換し、演算器 7 1 に出力する。

演算器 7 1 は、D / A 7 2 からの出力と P D 6 7 からの電流を抵抗器（図 1 1 に不図示）を用いて電圧に変換した後の電圧とを比較し、その差分に応じた出力を V A T 駆動回路 7 0 に出力する。V A T 駆動回路 7 0 は、この演算器 7 1 からの出力によって V A T 5 9 の減衰量を調整することによりこの中継装置から射出される C - b a n d の WDM 方式光信号の光パワーを制御値に調整する。

【0 2 2 8】

ここで、G S - E D F A 3 4 は、上述の E D F 7 8 を長尺のエルビウム元素を

添加した光ファイバに代えて構成する。このとき、分散補償ファイバ 6 0、演算器 5 8、7 1 の諸設定および ROM 7 4 の内容は、L - b a n d の WDM 方式光信号の場合に合わせる。

また、図 1 4 を用いて複合光増幅装置の構成について詳述したが、図 1 3 の 2 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置における EDFA 2 3 および GS - EDFA 2 4 の構成もこれに類似した構成である。

#### 【0 2 2 9】

両構成の対応関係は、WDM カプラ 2 1 -2 から射出される C - b a n d の WDM 方式光信号は WDM カプラ 3 1 から射出される C - b a n d の WDM 方式光信号に対応し、WDM カプラ 2 1 -3 から射出される L - b a n d の WDM 方式光信号は WDM カプラ 3 1 から射出される L - b a n d の WDM 方式光信号に対応する。そして、EDFA 2 3 は EDFA 3 3 に対応し、GS - EDFA 2 4 は、GS - EDFA 3 4 に対応する。さらに、WDM カプラ 2 5 は WDM カプラ 3 5 に対応し、カプラ 2 7 -2、2 7 -3 はカプラ 3 7 -2、3 7 -3 に対応し、光パワーメータ 2 6 -2、2 6 -3 は光パワーメータ 3 6 -2、3 6 -3 に対応する。

#### 【0 2 3 0】

(本発明と第 3 の実施形態との対応関係)

以下、本発明と第 3 の実施形態との対応関係について説明する。

請求項 2 9 に記載の発明と第 3 の実施形態との対応関係については、スペクトル検出手段はカプラ 9 6 -2、9 6 -3 とスペクトルアナライザ 9 7 -2、9 7 -3 に対応し、プリアンプ光信号生成手段は光信号生成部 2 0 -s+1 ~ 2 0 -s+t+u と VAT 9 0 -1 ~ 9 0 -t+u と VAT 駆動回路 9 1 -1 ~ 9 1 -t+u と VAT 制御回路 9 4 と WDM カプラ 2 1 -2、2 1 -3 とカプラ 9 2 -2、9 2 -3 とスペクトルアナライザ 9 3 -2、9 3 -3 に対応し、光増幅手段は EDFA 2 3 および GS - EDFA 2 4 に対応し、制御手段は監視制御回路 9 5 に対応し、波長多重手段は WDM カプラ 2 5 に対応する。

#### 【0 2 3 1】

請求項 3 1 に記載の発明と第 3 の実施形態との対応関係については、光信号生成手段は光信号生成部 2 0 -s+1 ~ 2 0 -s+t+u と VAT 9 0 -1 ~ 9 0 -t+u と VAT

駆動回路 9 1 -1 ~ 9 1 -t+u と V A T 制御回路 9 4 と WDM カプラ 2 1 -2、 2 1 -3 と カプラ 9 2 -2、 9 2 -3 と スペクトルアナライザ 9 3 -2、 9 3 -3 に対応し、光増幅手段は E D F A 2 3 および G S - E D F A 2 4 に対応し、光増幅手段は E D F A 2 3 および G S - E D F A 2 4 に対応する。

【 0 2 3 2 】

(第 3 の実施形態の作用効果)

このような構成の光伝送システムの作用効果について、以下に説明するが、各波長帯域内のプリエンファシスを施された後の各波長帯域間のプリエンファシスの制御は、第 1 の実施形態と同様であるので、その説明を省略する。

まず、各波長帯域内のプリエンファシスについて説明する。

【 0 2 3 3 】

2 波長帯域 WDM 方式光信号受信装置から射出された 2 波長帯域 WDM 方式光信号は、光ファイバ 4 8 を伝送する間に複合光増幅装置である中継装置により増幅中継され、WDM 方式光信号受信装置に入射される。

WDM 方式光信号装置内において C - b a n d の WDM 方式光信号は、スペクトルアナライザ 9 7 -2 によって、そのスペクトルが計測される。この計測結果は、制御信号を専用に伝送する制御回線を利用して 2 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置内の監視制御回路 9 5 に送信する。なお、制御回線を用いる代わりに 2 波長帯域 WDM 方式光信号における光信号のうちの 1 個を用いてもよい。この場合には、例えば、S D H (synchronous digital hierarchy) のセクションオーバーヘッド (section over head) の未定義バイトを利用する。セクションオーバーヘッドは、S D H において、保守情報、状態モニタなどのネットワークを運用する上で必要な情報を収容する部分である。

【 0 2 3 4 】

監視制御回路 9 5 は、この計測結果を V A T 制御回路 9 4 に出力する。

V A T 制御回路 9 4 は、この計測結果から、C - b a n d の WDM 方式光信号のうちの最良の S N R である光信号を判断する。そして、V A T 制御回路 9 4 は、この最良の S N R になるように各光信号に対応する V A T 駆動回路 9 1 -1 ~ 9 1 -t に信号を出力し、各 V A T 9 0 -1 ~ 9 0 -t の減衰量を制御する。

## 【0235】

各VAT90-1～90-tによって光パワーを調整された各光信号は、WDMカプラ51-2によって波長多重され、カプラ92-2に入射される。このC-bandのWDM方式光信号の一部は、カプラ92-2で分岐されてスペクトルアナライザ93-2に入射され、そのスペクトルが計測される。スペクトルアナライザ93-2は、この計測結果をVAT制御回路94に出力する。

## 【0236】

VAT制御回路94は、このスペクトルアナライザ93-2からの計測結果から各光信号の光パワーが調整通りのになっているかを判断し、各VAT駆動回路91-1～91-tを微調整する。

## 【0237】

このようにしてC-bandのWDM方式光信号は、波長帯域内のプリエンファシスが施される。

同様に、L-bandのWDM方式光信号も、カプラ96-3、スペクトルアナライザ97-3、監視制御回路95、VAT制御回路94、VAT駆動回路91-t+1～91-t+u、VAT90-t+1～90-t+u、カプラ92-3およびスペクトルアナライザ93-3によって波長帯域内のプリエンファシスが施される。

## 【0238】

そして、波長帯域内のプリエンファシスを施された各WDM方式光信号は、第1の実施形態において説明したように、波長帯域間のプリエンファシスを施されて光ファイバ48-1に射出される。

中継装置では、2波長帯域WDM方式光信号は、光伝送路の誘導ラマン散乱や損失などによってWDM方式光信号の光パワーが変化するが、波長帯域間のプリエンファシスを施しているので、C-bandのWDM方式光信号の光パワーとL-bandのWDM方式光信号の光パワーとは、ほぼ同一である。そして、2波長帯域WDM方式光信号は、中継装置によって波長帯域間のプリエンファシスを施された上で増幅されて、再び光ファイバ48-2に射出される。

## 【0239】

2波長帯域WDM方式光信号は、同様に波長帯域間のプリエンファシスを施さ



れた上で増幅されて、中継装置の多段接続によって中継されてWDM方式光信号受信装置に入射される。

入射される2波長帯域WDM方式光信号の各光信号は、上述のように波長帯域内のプリエンファシスとを施されているので、各装置内のEDFA23、33およびGS-EDFA24、34によるASEから生じるSNRの劣化を改善することができる。さらに、波長帯域間のプリエンファシスも施しているので、光ファイバ48の誘導ラマン散乱などによる波長帯域間の偏差によるSNRの劣化も改善することができる。

#### 【0240】

このように第3の実施形態における光伝送システムでは、各光信号のSNRを著しく改善できるので、より超長距離伝送をすることができる。

なお、第3の実施形態において波長帯域内のプリエンファシスをVATを用いて調整したが、これに限定されるものではない。入射する光の光パワーを調整して射出することができるデバイスなら何でもよい。例えば、光ファイバ増幅器や半導体レーザ光増幅器を使用することができる。光ファイバ増幅器の場合には、光ファイバを励起するための励起光の出力を調整することにより利得を調整して波長帯域内のプリエンファシスを施すことができる。また、半導体レーザ光増幅器の場合には、バイアス電流（駆動電流）を調整することにより利得を調整して波長帯域内のプリエンファシスを施すことができる。

#### 【0241】

また、第1の実施形態ないし第3の実施形態における複合光増幅装置では、各波長帯域内の利得傾斜を後段の希土類元素光ファイバで制御したが、この代わりに光フィルタからなる利得等化器を使用して波長帯域内の利得傾斜をほぼなくすことができる。

図15は、光フィルタによる利得等化器を用いて光増幅器の利得波長特性を補償する複合光増幅装置を示す図である。（a）は、光増幅器内に利得等化器を備える場合を示し、（b）は、光増幅器とは別に利得等化器を備える場合を示している。

#### 【0242】

図15 (a)において、複合光増幅装置では、WDMカプラ100は、入射される3波長帯域WDM方式光信号を各バンドごとに分離する。分離されたWDM方式光信号は、光増幅器101-1~101-3内の光増幅部101-1a~101-3aにそれぞれ入射される。この光増幅部101-1aは、図11に示すTDF A 32においてTDF 62、LD 65、LD駆動回路66、演算器68、FBG 76、77およびPD 64、67を備えない構成である。他の光増幅部101-2a、101-3aも同様である。光増幅部101-1a~101-3aで出力を調整されて増幅された各バンドのWDM方式光信号は、利得等化部101-1b~101-3bにそれぞれ入射され、各波長帯域内の利得がほぼ平坦化される。ほぼ平坦化された各バンドのWDM方式光信号は、WDMカプラ92に入射され、波長多重されて再び3波長帯域WDM方式光信号となって次段の中継装置に伝送される。

## 【0243】

図15 (b)に示す複合光増幅装置は、それぞれ独立の光分品である、光増幅器103-1~103-3と利得等化器104-1~104-3とから構成され、光増幅器103-1~103-3は、図15 (a)における光増幅部101-1a~101-3aに対応し、利得等化器104-1~104-3は、利得等化部101-1b~101-3bに対応する。

## 【0244】

さらに、第1の実施形態ないし第3の実施形態における複合光増幅装置では、光システム構築の際に波長帯域数が固定されている場合を説明したが、WDMカプラ31、35に光アダプタを設けることにより、光システム構築の後に波長帯域の縮小・拡張に対応することができる。

図16は、波長帯域の縮小・拡張を可能にする構成を示す図である。

## 【0245】

図16に示すように光増幅器を着脱可能なようにWDMカプラ31とTDF A 32、EDFA 33およびGS-EDFA 34とのそれぞれの間およびTDF A 32、EDFA 33およびGS-EDFA 34とWDMカプラ35とのそれぞれの間に光アダプタ106-1~106-3、107-1~107-3を設け、波長帯域の縮小・拡張に合わせて監視制御回路38内のROM 51の内容を書き替える。

## 【0 2 4 6】

また、第 1 の実施形態において 3 波長帯域 WDM 方式光信号についておよび第 3 の実施形態において 2 波長帯域 WDM 方式光信号について説明したが、これに限定されるものではない。任意の波長帯域数の  $n$  波長帯域 WDM 方式光信号に対して各請求項に記載の発明は、適用することができる。

さらに、第 1 の実施形態ないし第 3 の実施形態においては、各波長帯域の WDM 方式光信号は、共に同じ方向に伝送される単方向伝送の場合について説明したが、図 2 1 および図 2 2 に示すように、単方向伝送の場合と双方向伝送の場合とは同じの結果であるので、双方向伝送の場合にも適用することができる。

## 【0 2 4 7】

## 【発明の効果】

請求項 1 ないし請求項 2 7 に記載の発明では、複数の  $n$  波長帯域に亘る光を伝送する場合に、光伝送路で生じる誘導ラマン散乱や光伝送路の損失などを考慮して送出側で予め波長帯域間においてプリエンファシスを設けておくので、受光側では波長帯域間において光パワーにほとんど差のない光を受信することができる。

## 【0 2 4 8】

さらに、請求項 7、請求項 8、請求項 1 4、請求項 1 5、請求項 1 8、請求項 1 9、請求項 2 1、請求項 2 4 および請求項 2 6 に記載の発明では、各波長帯域の光を増幅する光増幅器の雑音も考慮して送出側で予め波長帯域間においてプリエンファシスを設けておくので、受光側で各波長帯域において光パワーにより差のない光を受信することができる。

## 【0 2 4 9】

そして、請求項 1 2 ないし請求項 1 9、および、請求項 2 3 ないし請求項 2 6 に記載の発明では、プリエンファシスを制御する際に受光側における各波長帯域の光パワーを検出してフィードバック制御をするので、受光側で各波長帯域の光パワーを均一にする制御を確実に行うことができる。

さらに、請求項 2 9 および請求項 3 1 に記載の発明では、波長帯域間のプリエンファシスと波長帯域内のプリエンファシスを設けておくので、受信側において

SNRをより改善することができる。

【0250】

特に、 $n$ 波長帯域WDM方式光信号を送信する場合には、受信側で波長帯域間に光パワーがほとんど差がないので、各波長帯域のSNRをほぼ均一にすることができる。このため、請求項1ないし請求項31に記載の発明を利用した光伝送区間では、システム全体の性能を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

請求項1、請求項3、請求項4、請求項7、請求項9、請求項10、請求項12、請求項14、請求項16および請求項18に記載の発明の原理構成を示す図である。

【図2】

請求項2、請求項3、および、請求項5ないし請求項19に記載の発明の原理構成を示す図である。

【図3】

請求項1ないし請求項31に記載の発明の原理を説明する図である。

【図4】

波長帯域間にプリエンファシスを設けた例を示す図である。

【図5】

(a)は、第1波長帯域のチャンネル数を $m$ から $m+k$ にする場合を示す図である。(b)は、第1波長帯域のチャンネル数を $m$ から $m-k$ にする場合を示す図である。

【図6】

(a)は、第2波長帯域のチャンネル数を $m$ から $m+k$ にする場合を示す図である。(b)は、第2波長帯域のチャンネル数を $m$ から $m-k$ にする場合を示す図である。

【図7】

請求項20ないし請求項27に記載の発明の原理構成を示す図である。

【図8】

請求項 2 9 に記載の発明の原理構成を示す図である。

【図 9】

請求項 2 9 に記載の発明の動作を説明するための図である。

【図 1 0】

第 1 の実施形態における光伝送システムの全体構成を示す図である。

【図 1 1】

第 1 の実施形態の光伝送システムにおける複合光増幅装置の構成を示す図である。

【図 1 2】

第 2 の実施形態における光伝送システムの構成を示す図である。

【図 1 3】

第 3 の実施形態における光伝送システムの構成を示す図である。

【図 1 4】

第 3 の実施形態の光伝送システムにおける複合光増幅装置の構成を示す図である。

【図 1 5】

光フィルタによる利得等化器を用いて光増幅器の利得波長特性を補償する複合光増幅装置を示す図である。

【図 1 6】

波長帯域数の縮小・拡張を可能にする構成を示す図である。

【図 1 7】

単方向伝送の場合における誘導ラマン散乱による利得傾斜を測定する測定系の構成を示す図である。

【図 1 8】

地点 Y における 2 波長帯域 WDM 方式光のスペクトルを示す図である。

【図 1 9】

SMF を 8 0 k m 伝送後における 2 波長帯域 WDM 方式光のスペクトルを示す図である。

【図 2 0】

単方向伝送の場合におけるラマン利得を示す図である。

【図 2 1】

双方向伝送の場合における誘導ラマン散乱による利得傾斜を測定する測定系の構成を示す図である。

【図 2 2】

双方向伝送のラマン利得と単方向伝送のラマン利得とを示す図である。

【図 2 3】

従来の 3 波長帯域 WDM 伝送システムの構成を示す図である。

【符号の説明】

- 1、 2 複合光増幅装置
- 3 n 波長帯域 WDM 方式光信号送信装置
- 5 光増幅手段
- 6 波長多重手段
- 7 制御手段
- 8 波長分波手段
- 1 3 光信号生成手段
- 1 5 プリエンファシス光信号生成手段
- 1 7 スペクトル検出手段
- 2 0 光信号生成部
- 2 1、 2 5、 3 1、 3 5、 4 1、 4 5、 8 4 WDM カプラ
- 2 2、 3 2、 4 2 T D F A
- 2 3、 3 3、 4 3 E D F A
- 2 4、 3 4、 4 4 G S - E D F A
- 2 6、 3 6 光パワーメータ
- 2 8、 3 8、 8 2、 8 5 監視制御回路
- 5 1、 7 4、 7 5 R O M
- 5 2、 6 2 T D F
- 5 4、 5 7、 6 4、 6 7 P D
- 5 9 V A T

8 6 励起光源

9 0 V A T

9 3、9 6 スペクトルアナライザ

9 4 V A T制御回路

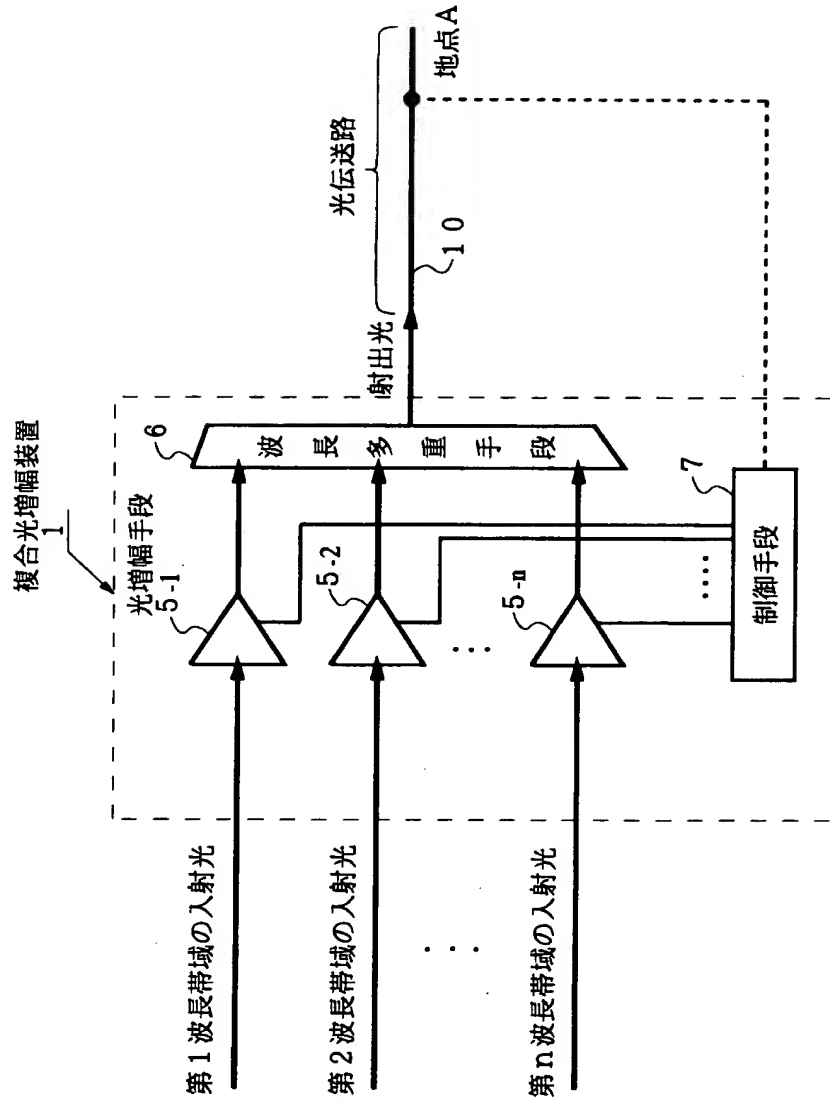
1 0 6、1 0 7 光アダプタ

【書類名】

図面

【図 1】

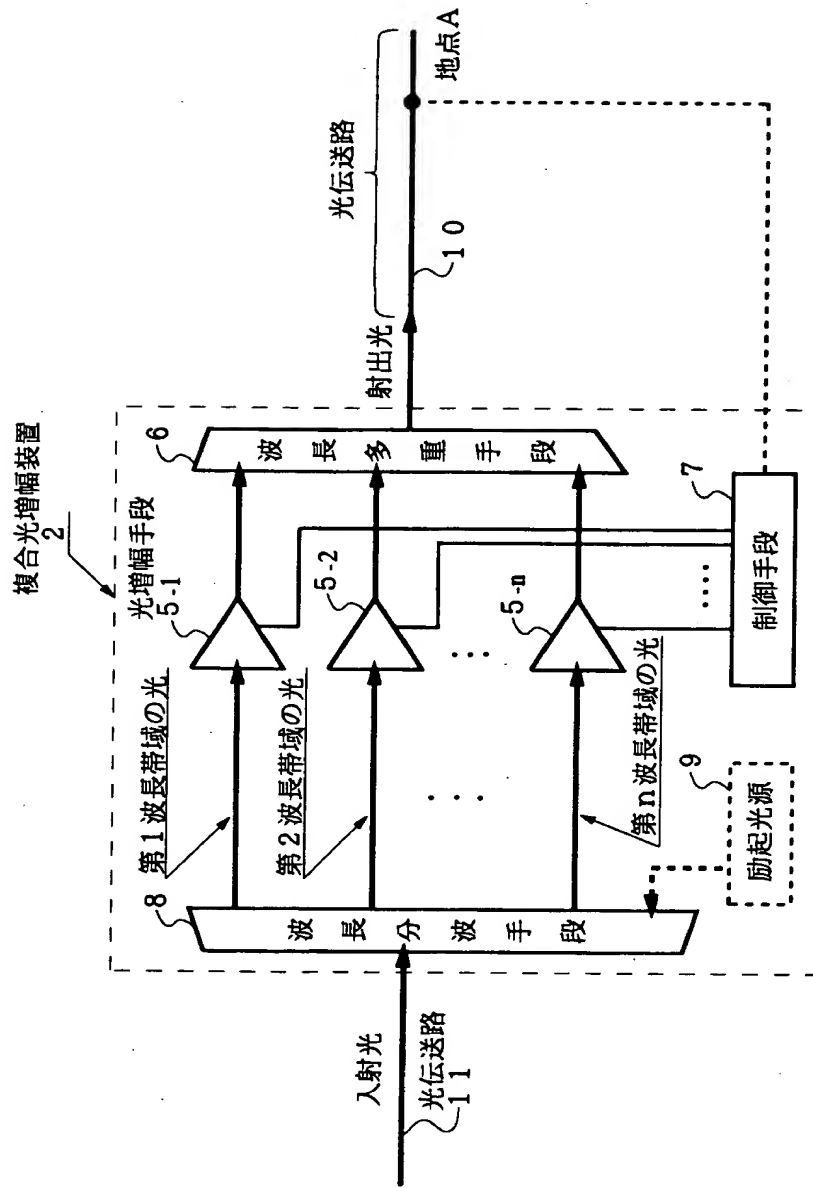
請求項 1、請求項 3、請求項 4、請求項 7、請求項 9、請求項 10、請求項 12、  
請求項 14、請求項 16 および請求項 18 に記載の発明の原理構成





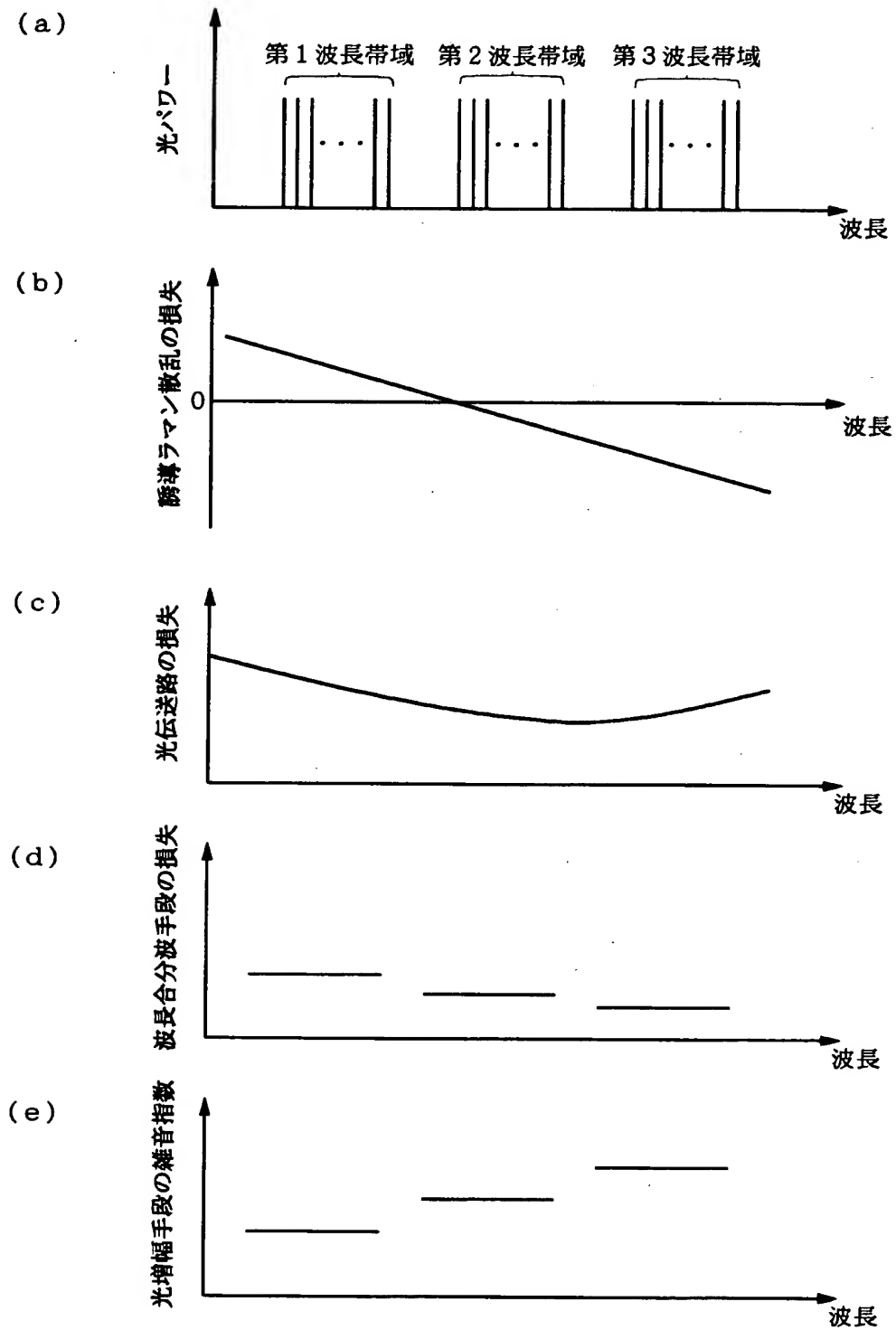
【図 2】

請求項 2、請求項 3、および、請求項 5 ないし請求項 10 に記載の発明の原理構成



【図 3】

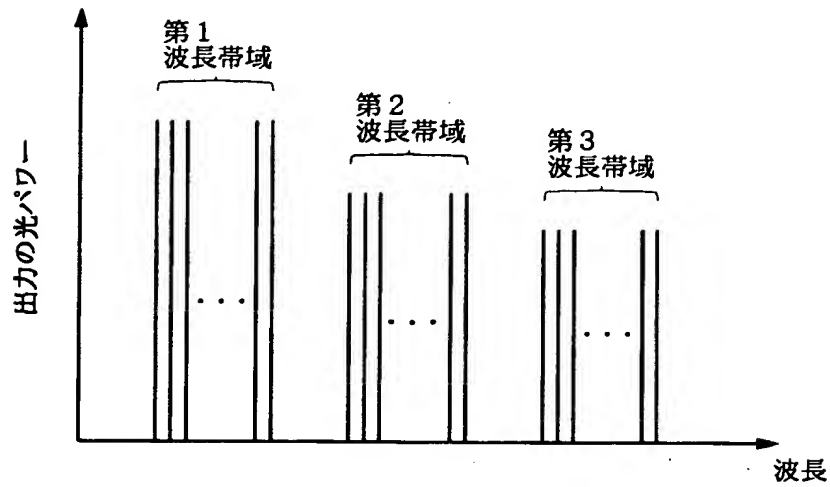
請求項 1 ないし請求項 1 9 に記載の発明の原理を説明する図



【図 4】

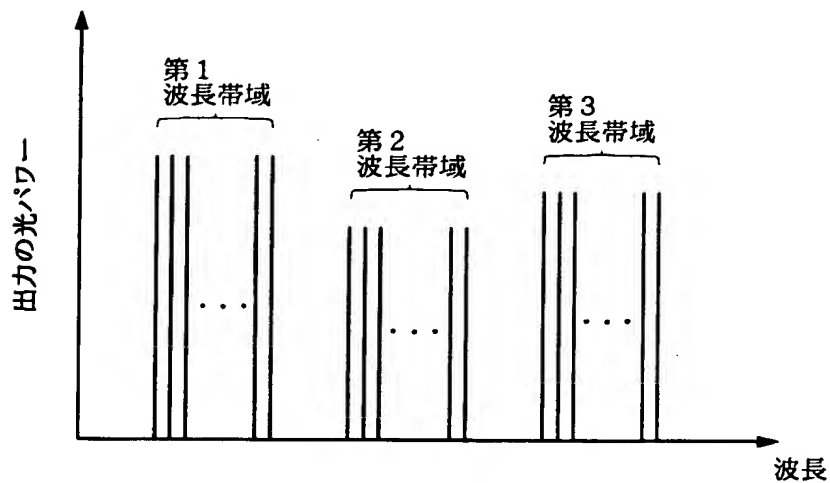
(a)

波長帯域ごとに増幅後の光パワーを制御した第 1 の例



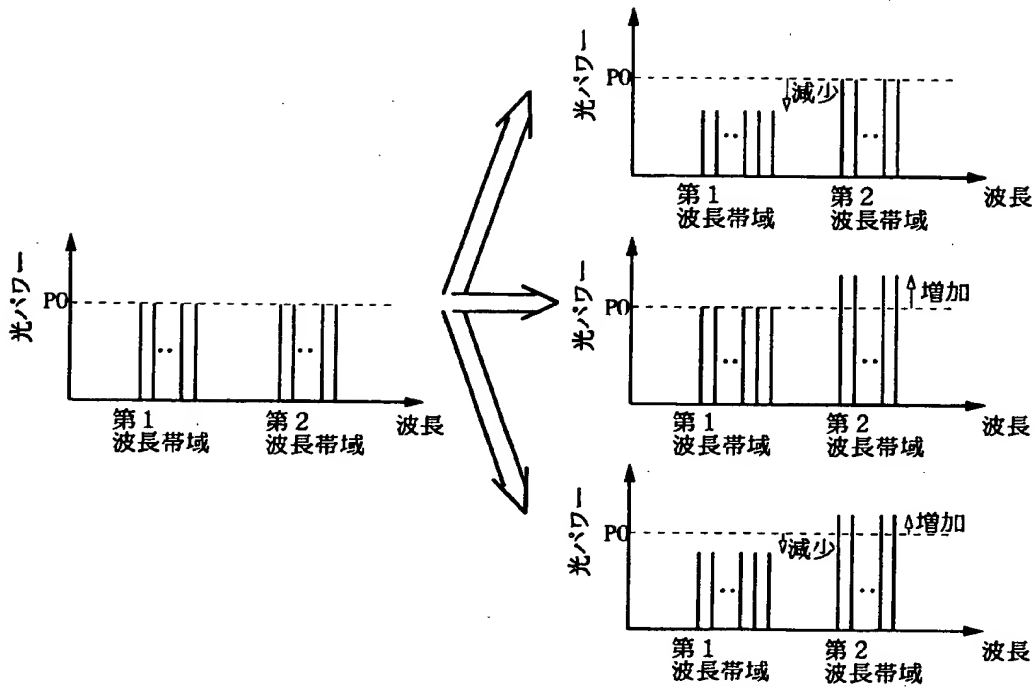
(b)

波長帯域ごとに増幅後の光パワーを制御した第 2 の例

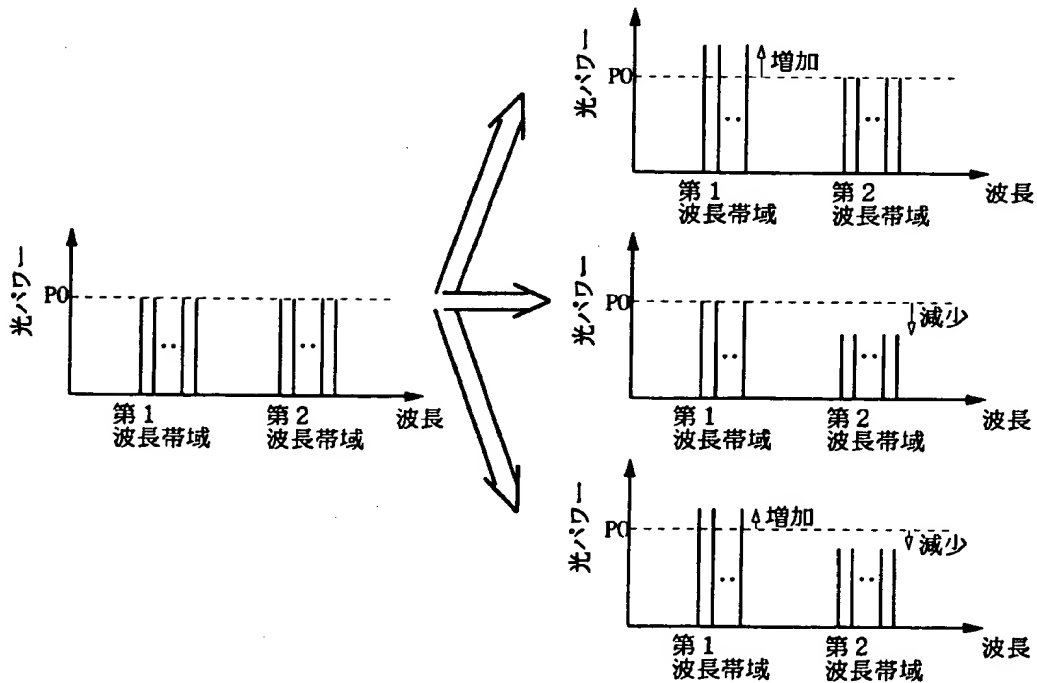


【図 5】

(a) 第1波長帯域のチャンネル数を $m$ から $m+k$ にする場合

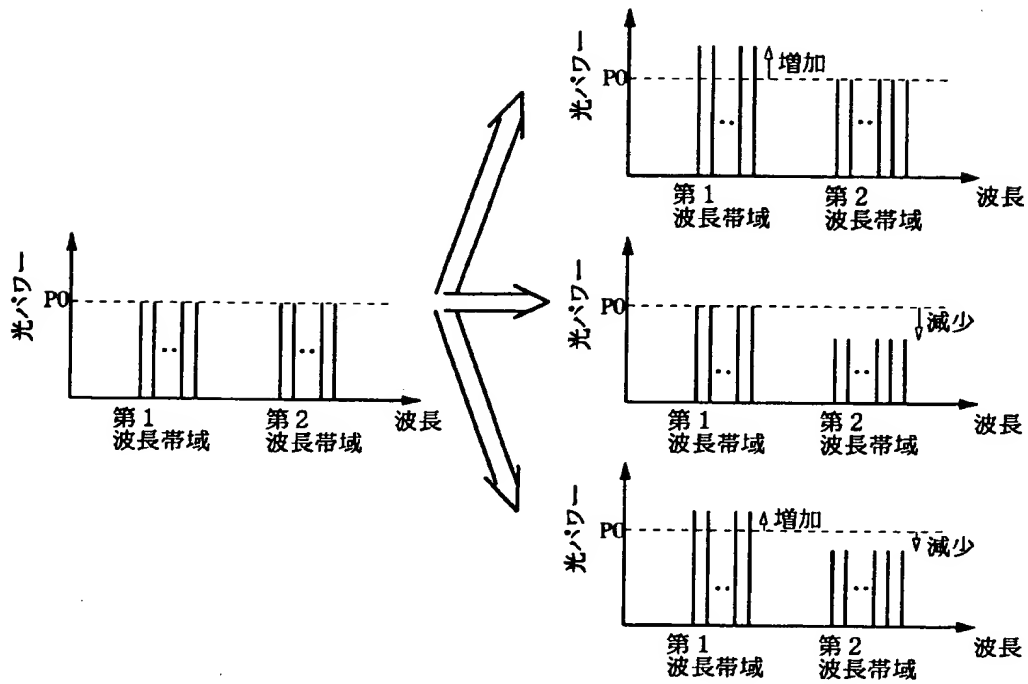


(b) 第1波長帯域のチャンネル数を $m$ から $m-k$ にする場合

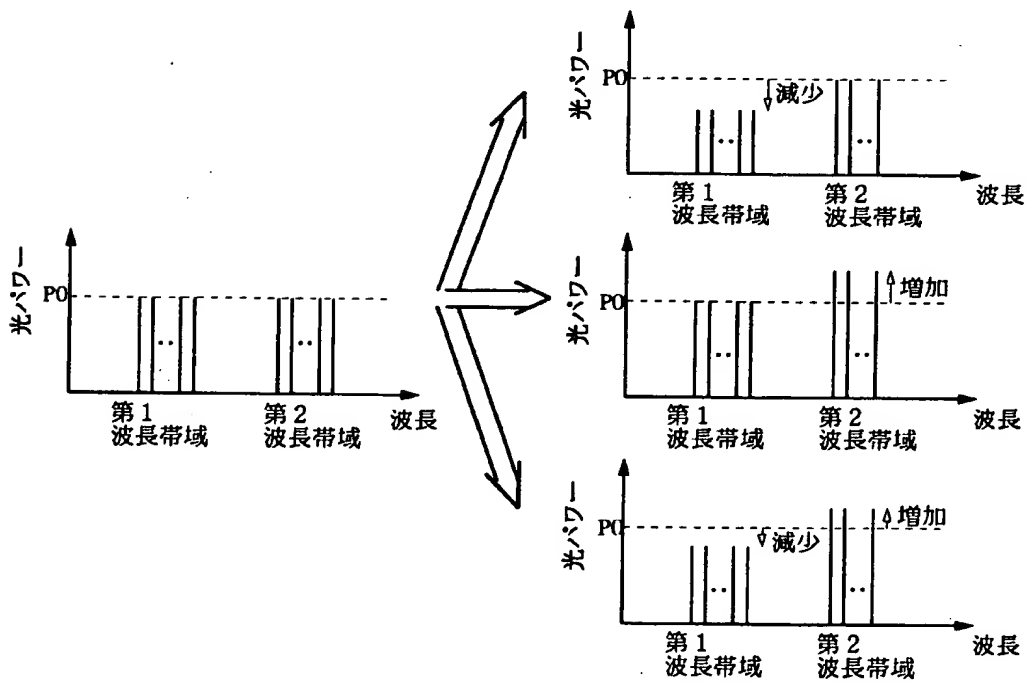


【図 6】

(a) 第2波長帯域のチャンネル数を $L$ から $L+h$ にする場合

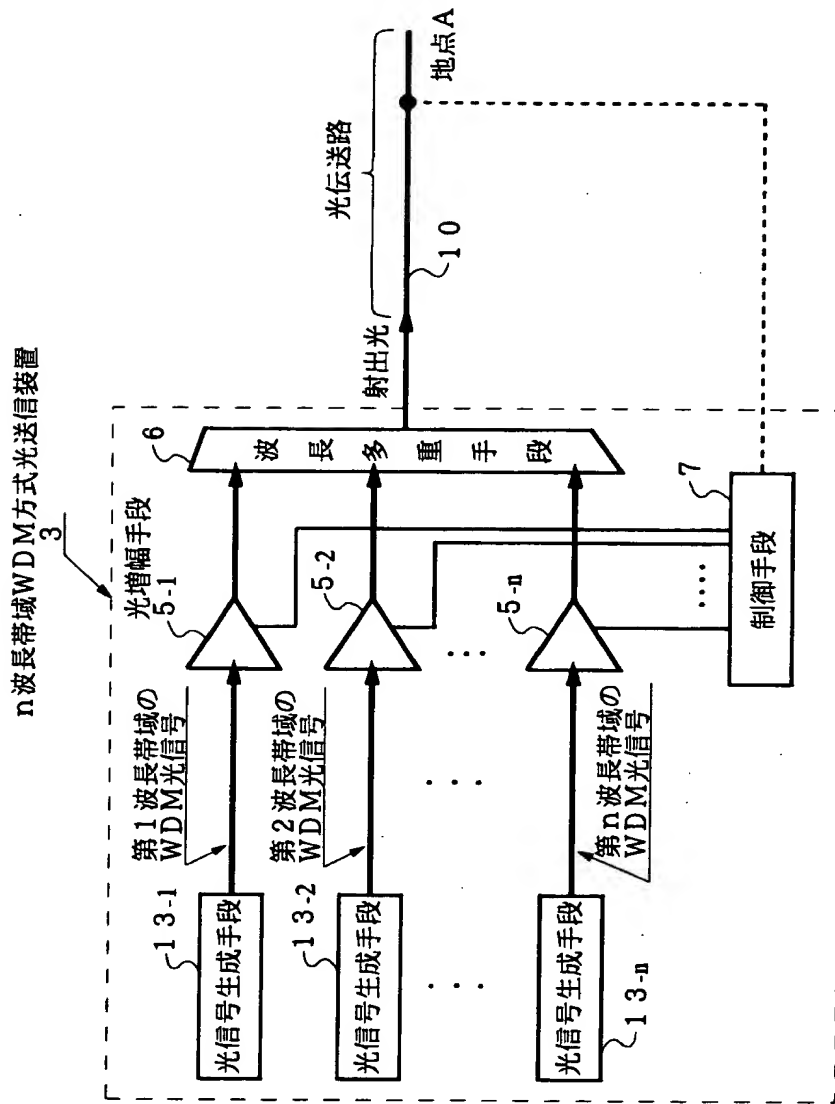


(b) 第2波長帯域のチャンネル数を $L$ から $L-h$ にする場合



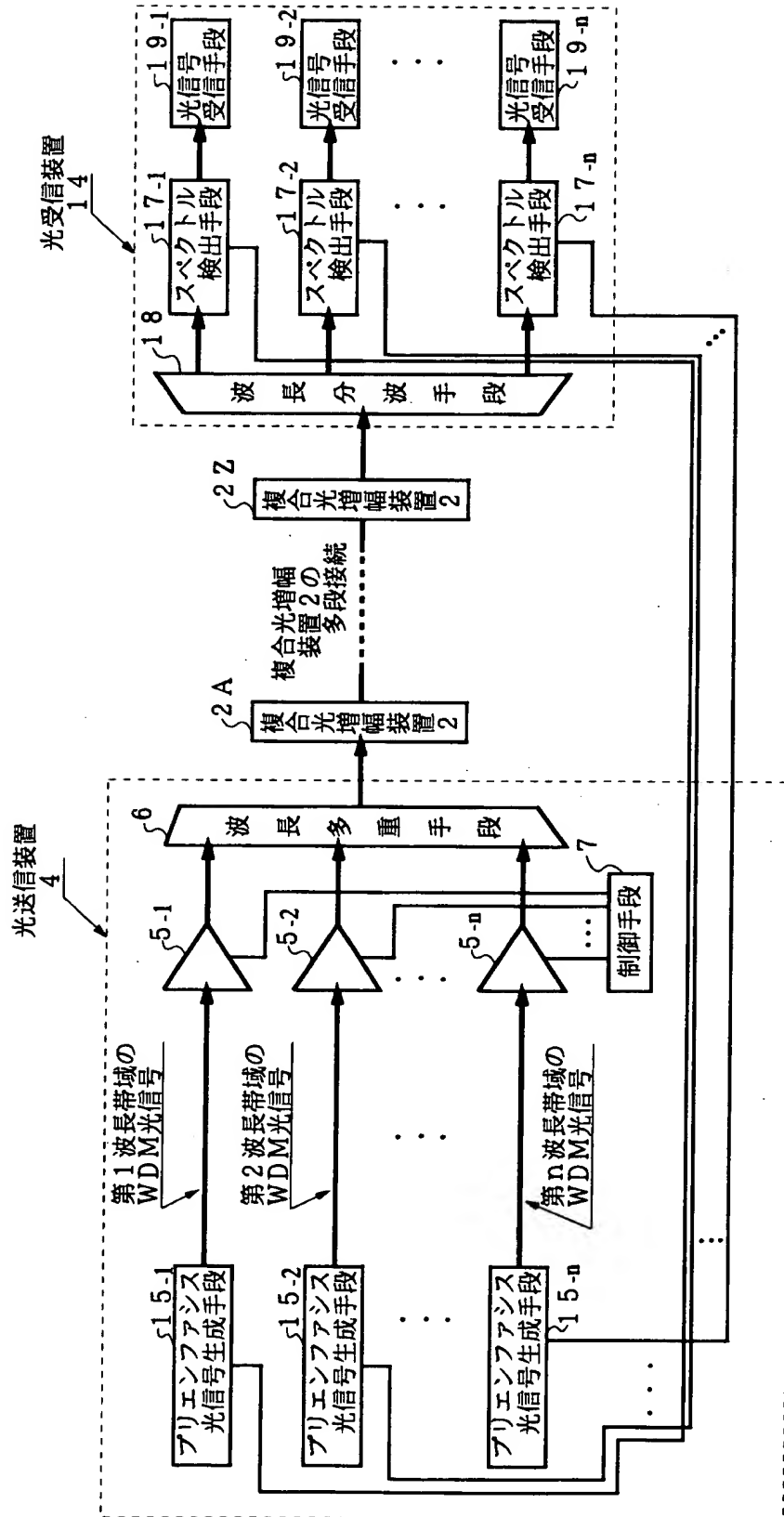
【図 7】

請求項 20 ないし請求項 27 に記載の発明の原理構成



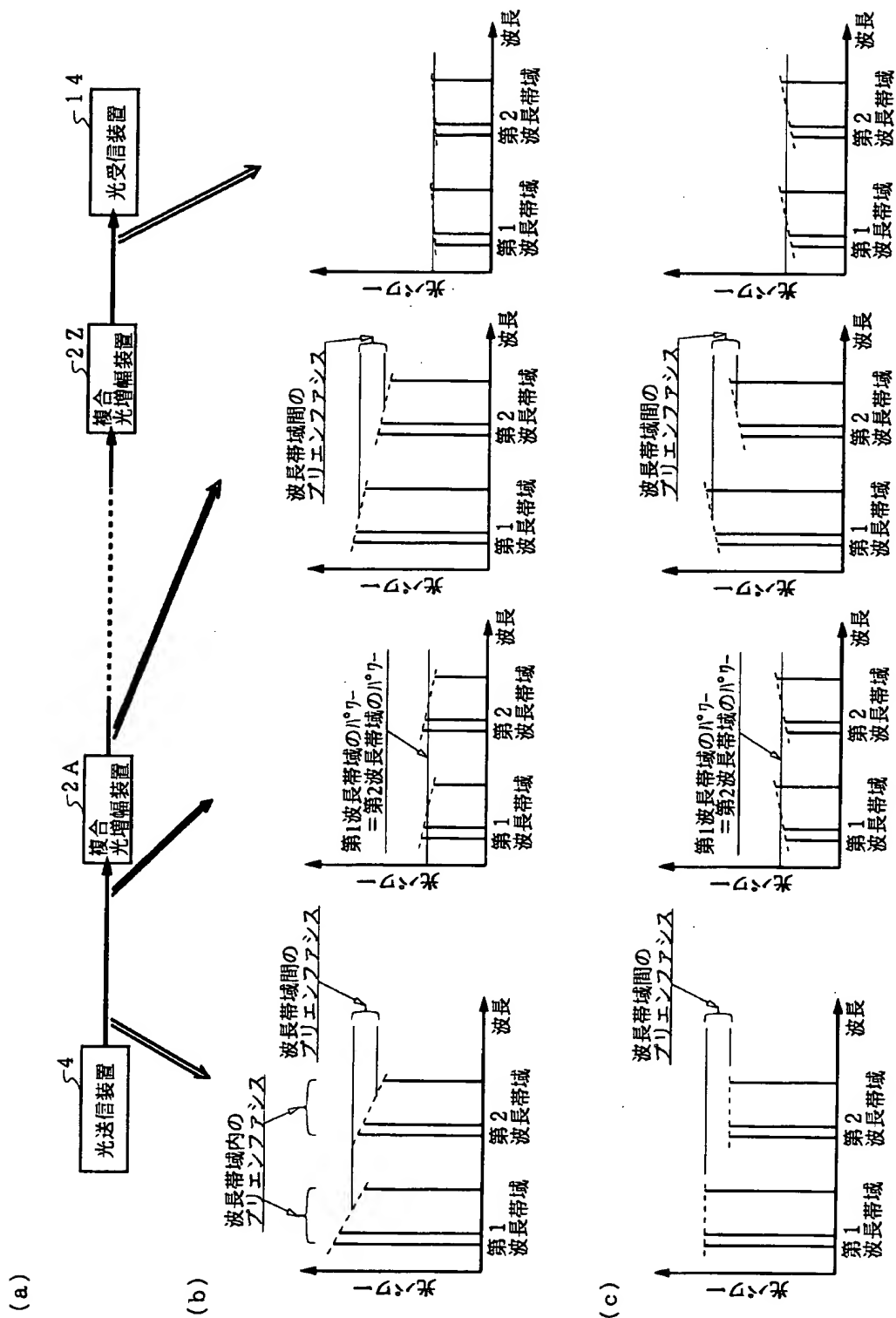
【図 8】

請求項 29 に記載の発明の原理構成



【図 9】

請求項 29 に記載の発明の動作を説明するための図

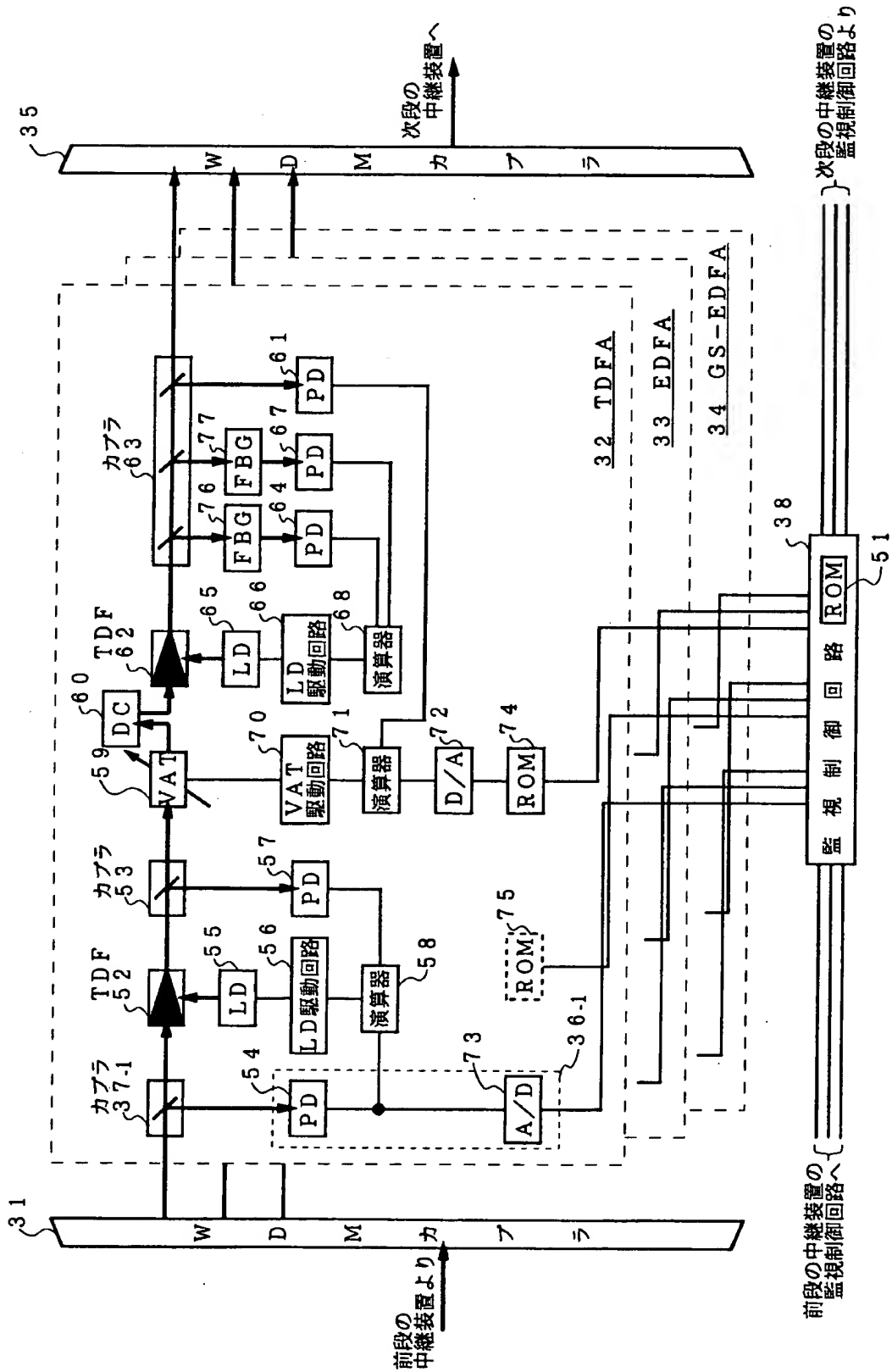






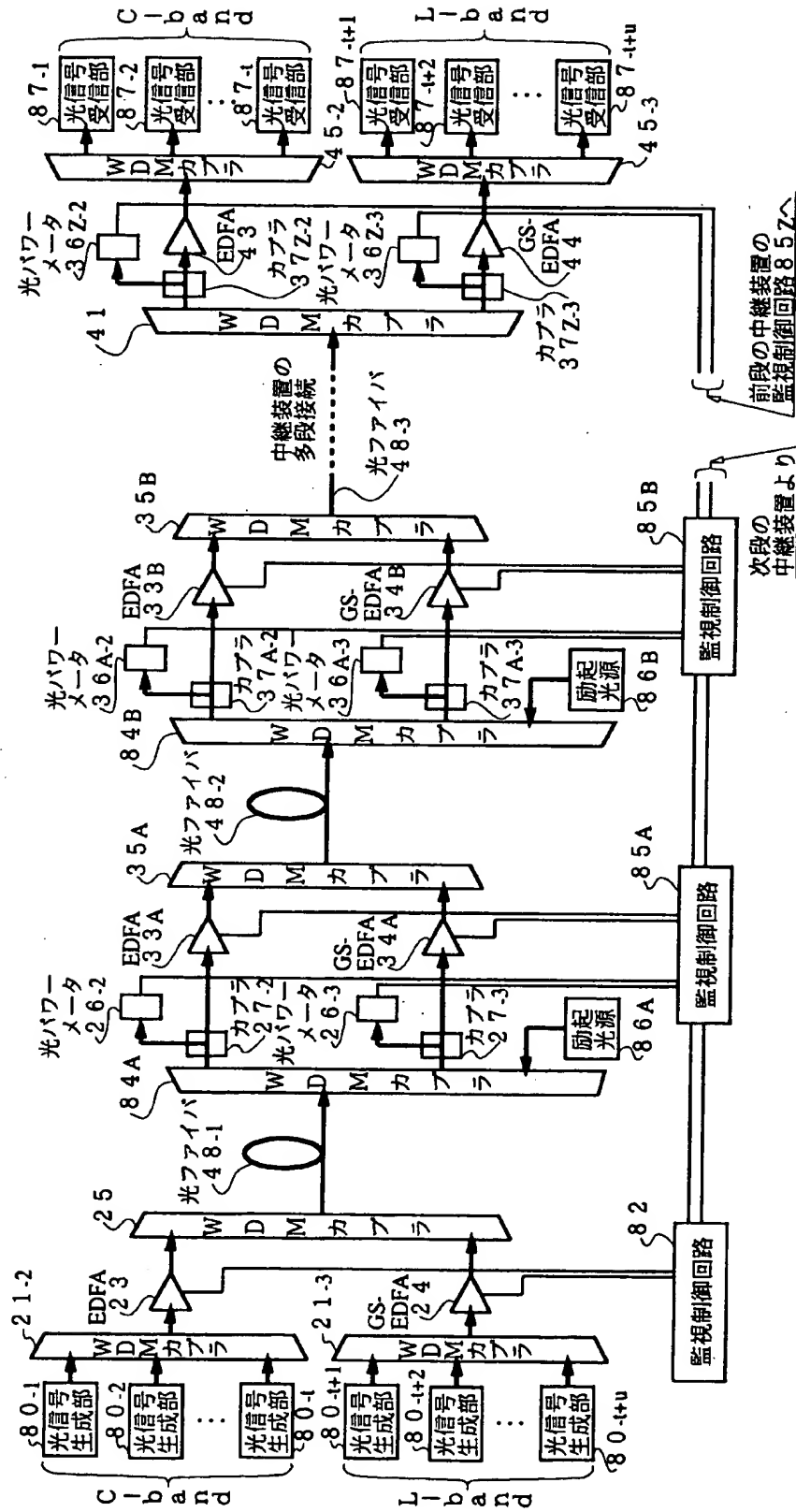
【図 1 1】

第 1 の実施形態の光伝送システムにおける複合光増幅装置の構成

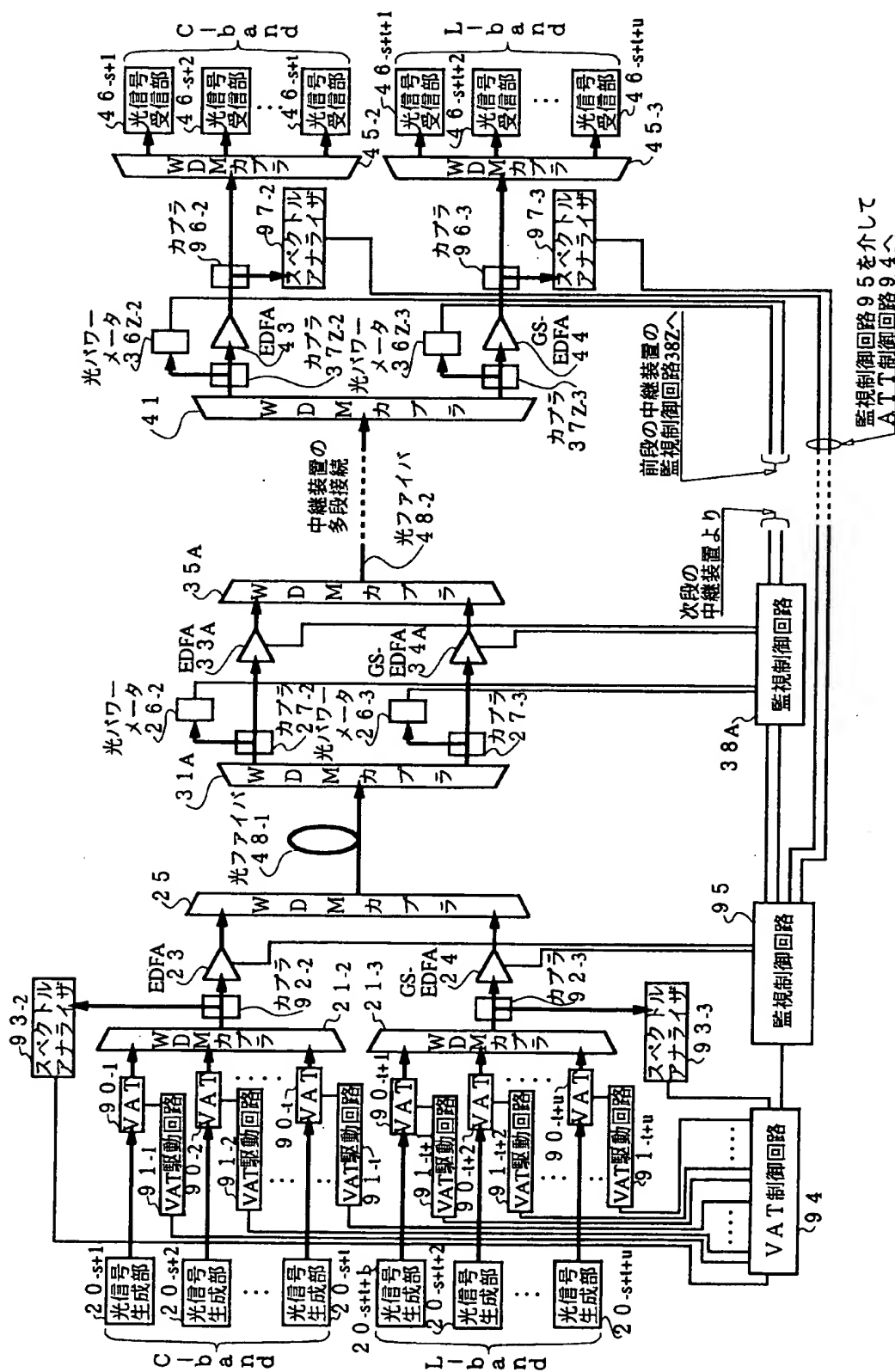
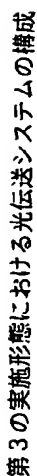


【図 1 2】

第 2 の実施形態における光伝送システムの構成

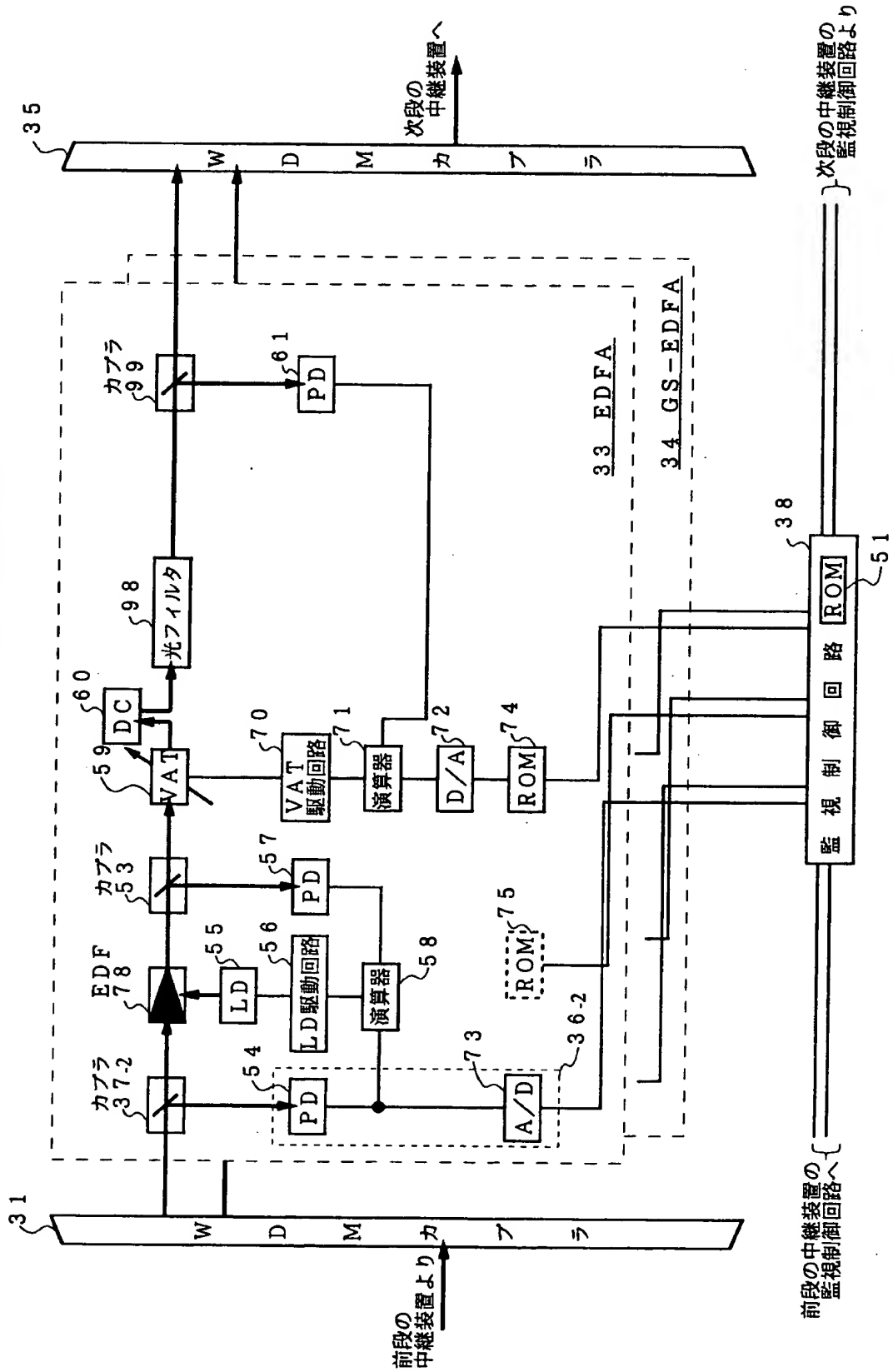


【图 13】



【図 1 4】

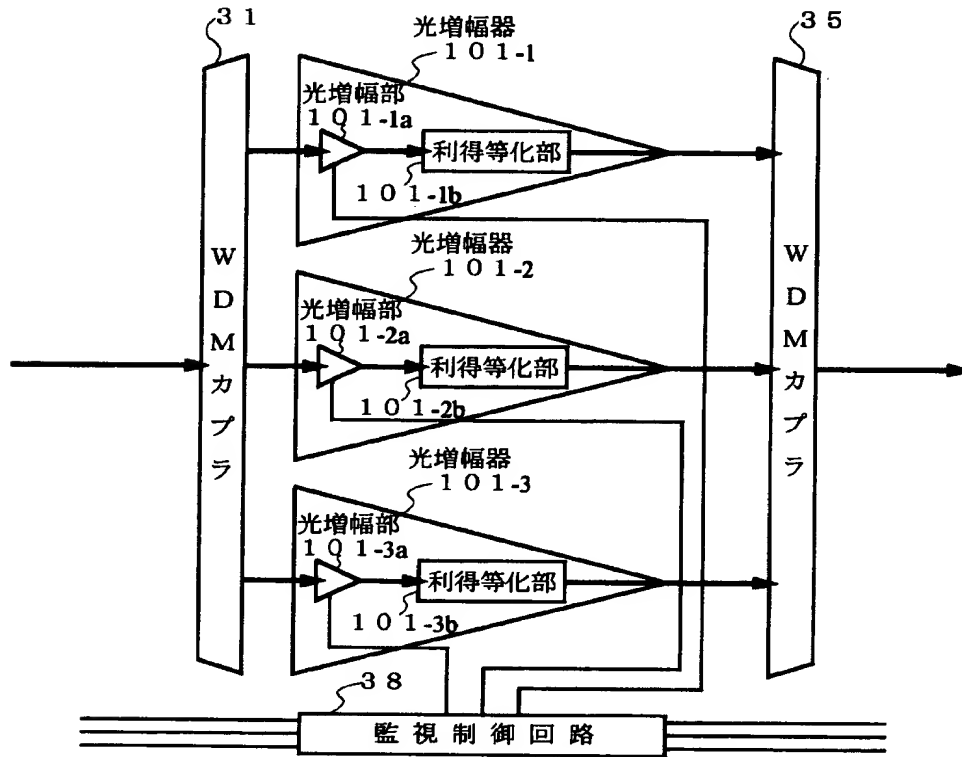
第3の実施形態の光伝送システムにおける複合光増幅装置の構成



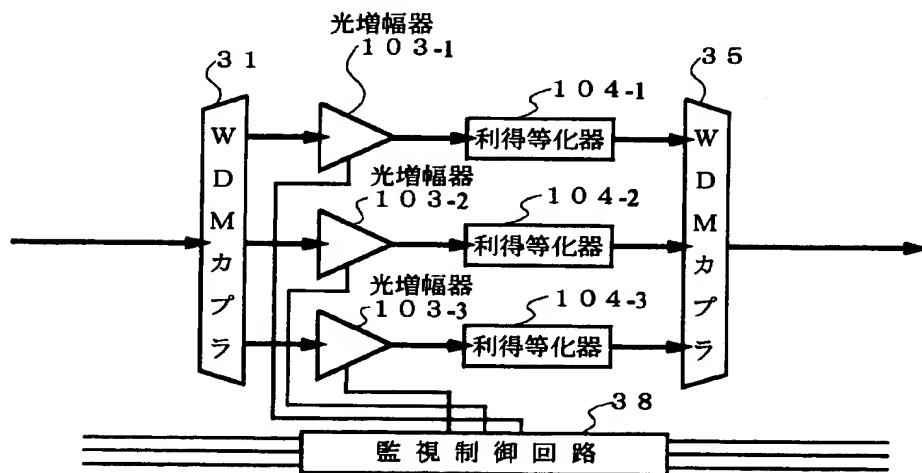
【図 1 5】

光フィルタによる利得等化器を用いて光増幅器の利得波長特性を補償する複合光増幅装置

(a)



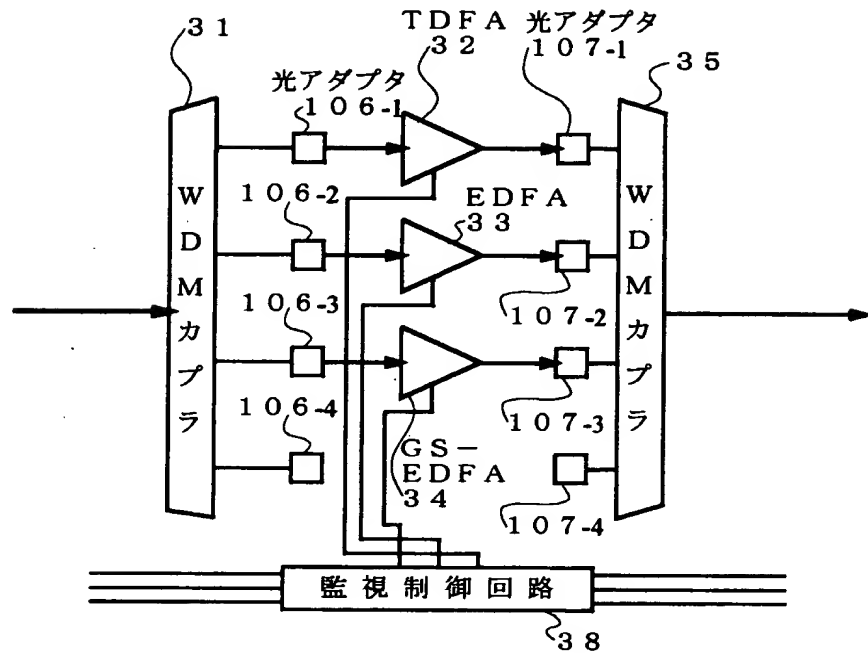
(b)



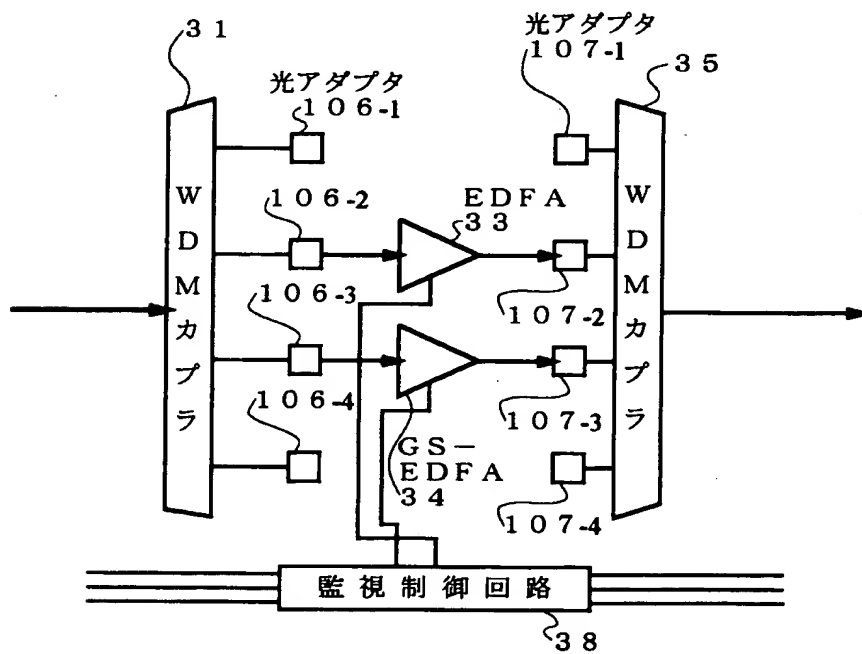
【図 1 6】

波長帯域の拡張を可能にする構成

(a)

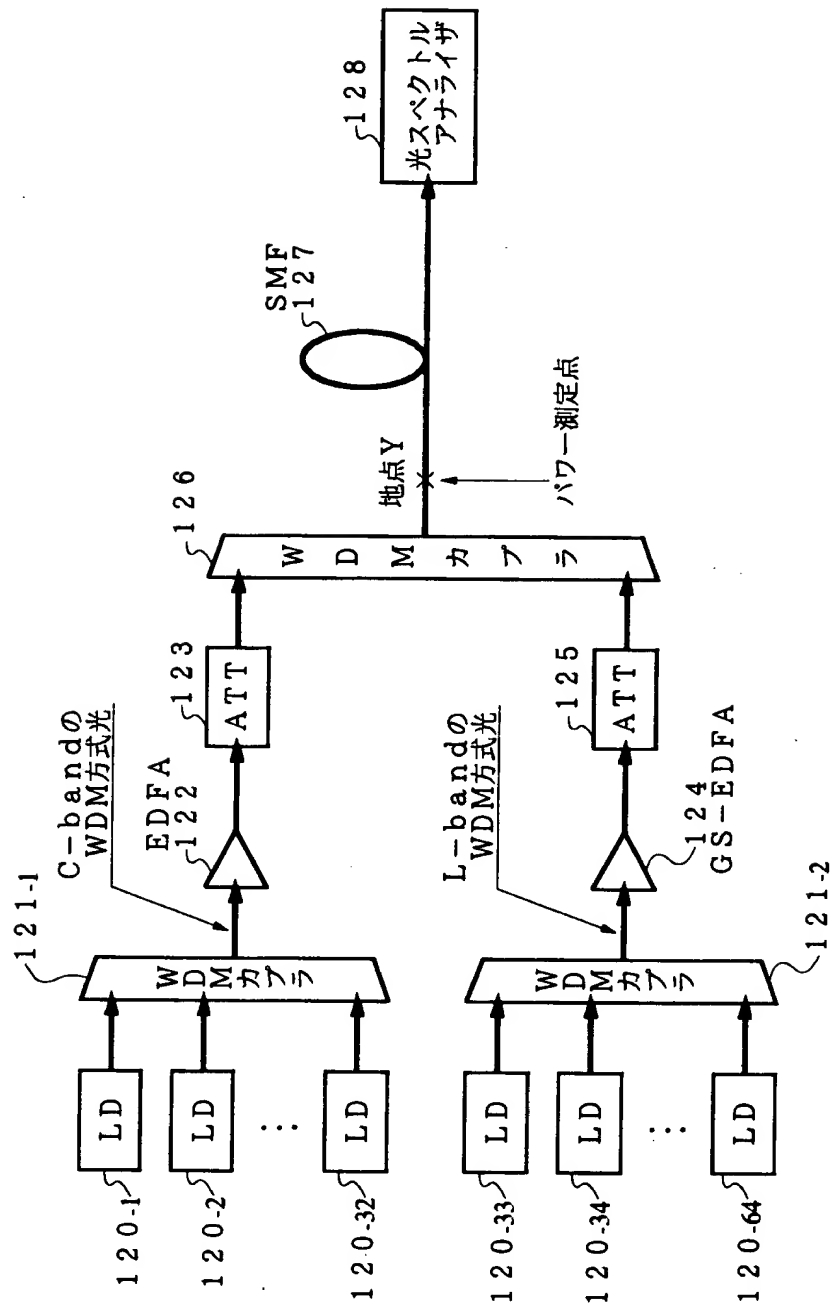


(b)



【図 1 7】

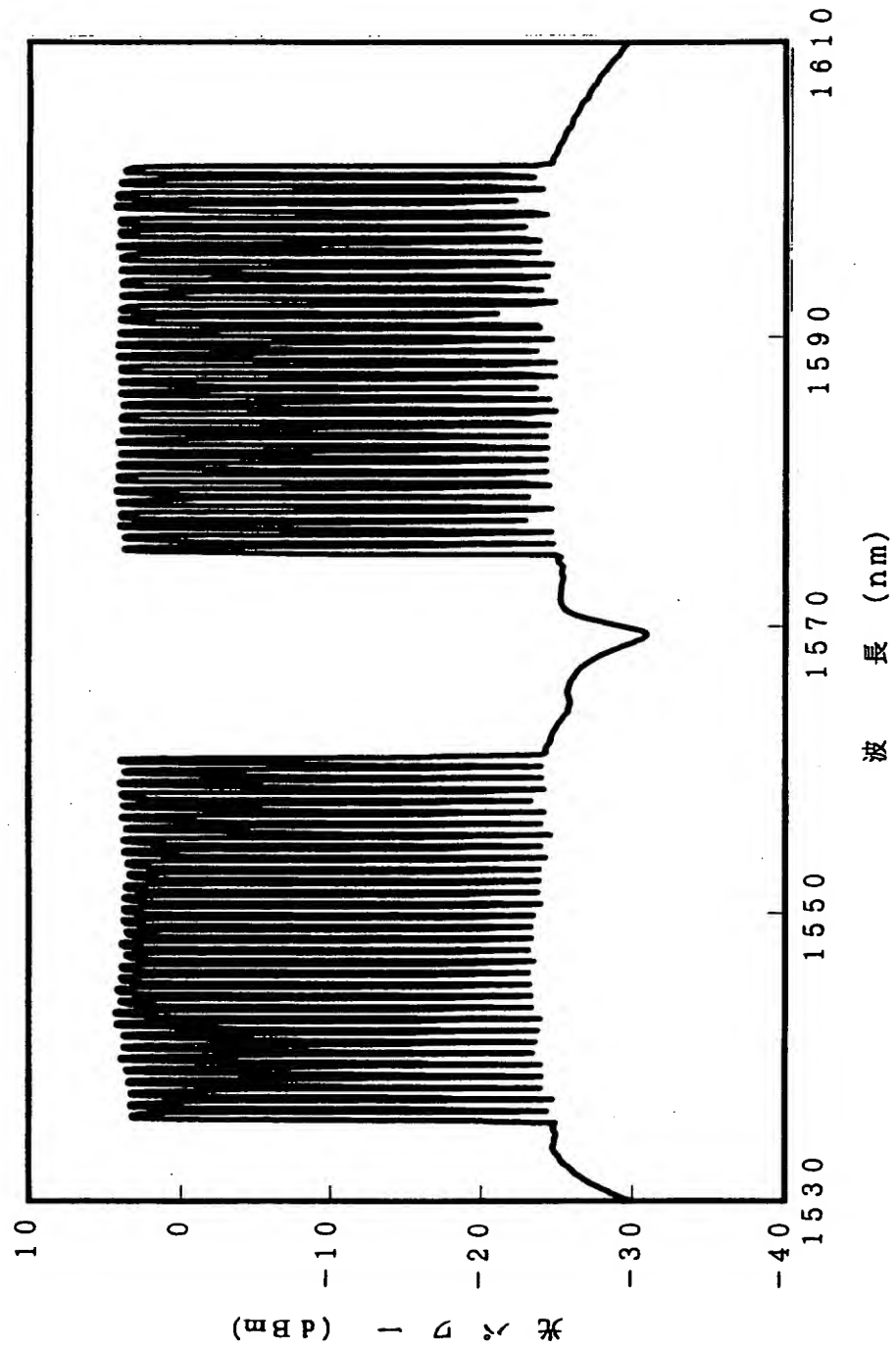
単方向伝送の場合における誘導ラマン散乱による利得傾斜を測定する測定系の構成  
(L-band (32波) およびC-band (32波) をSMFで80km伝送)





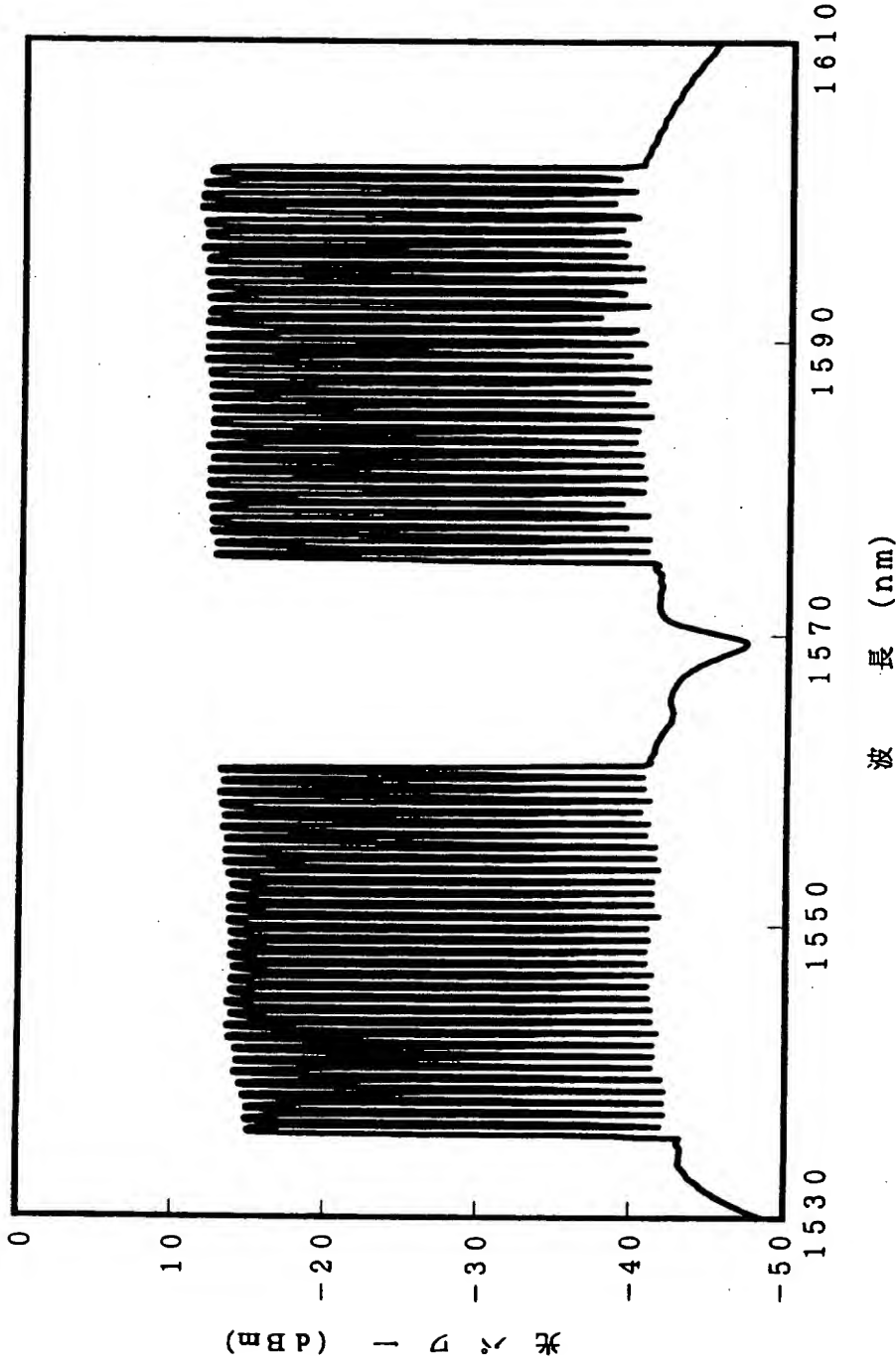
【図 18】

地点 Y における 2 波長帯域 WDM 方式光のスペクトル



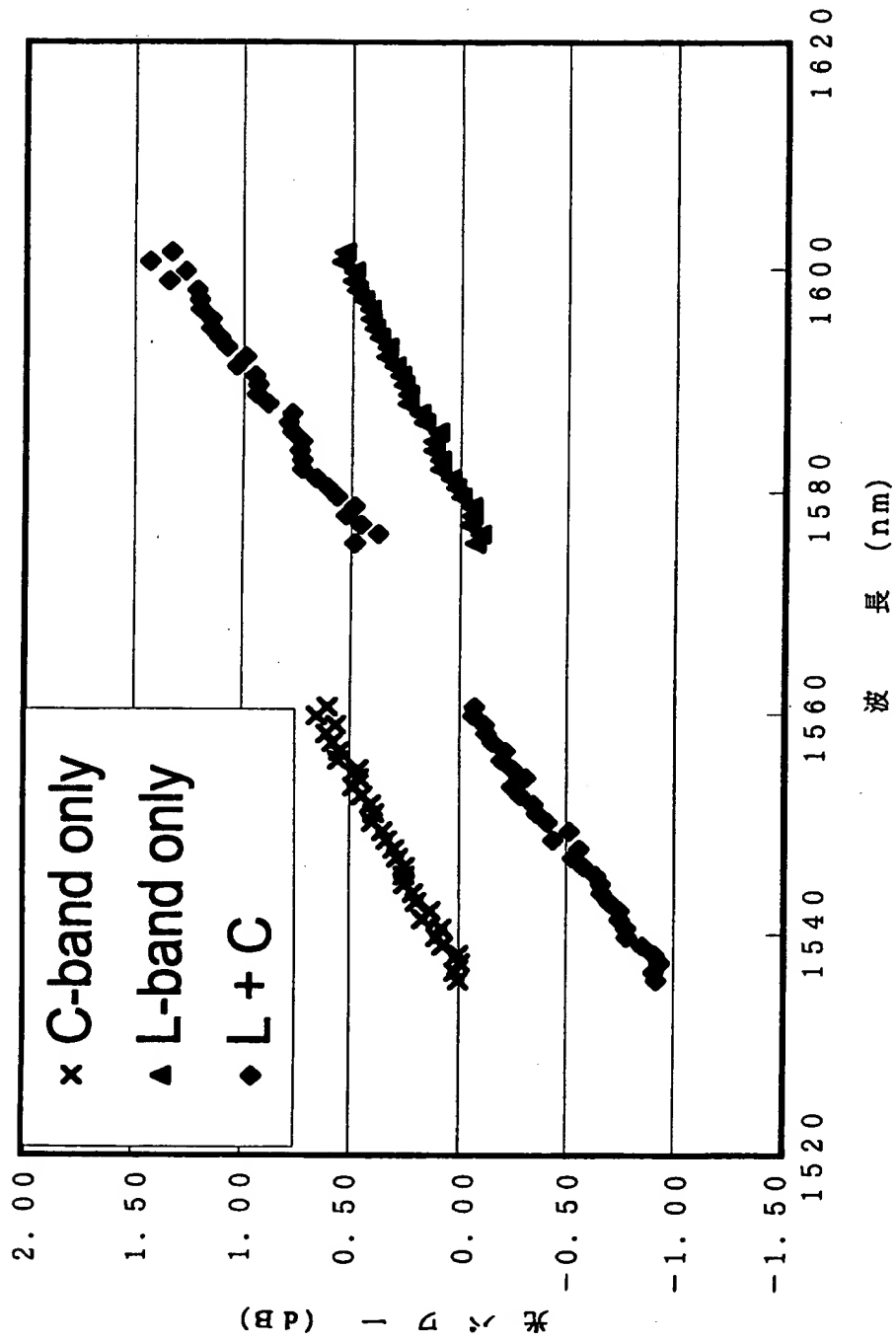
【図 1 9】

SMFを80km伝送後における2波長帯域WDM方式光のスペクトル



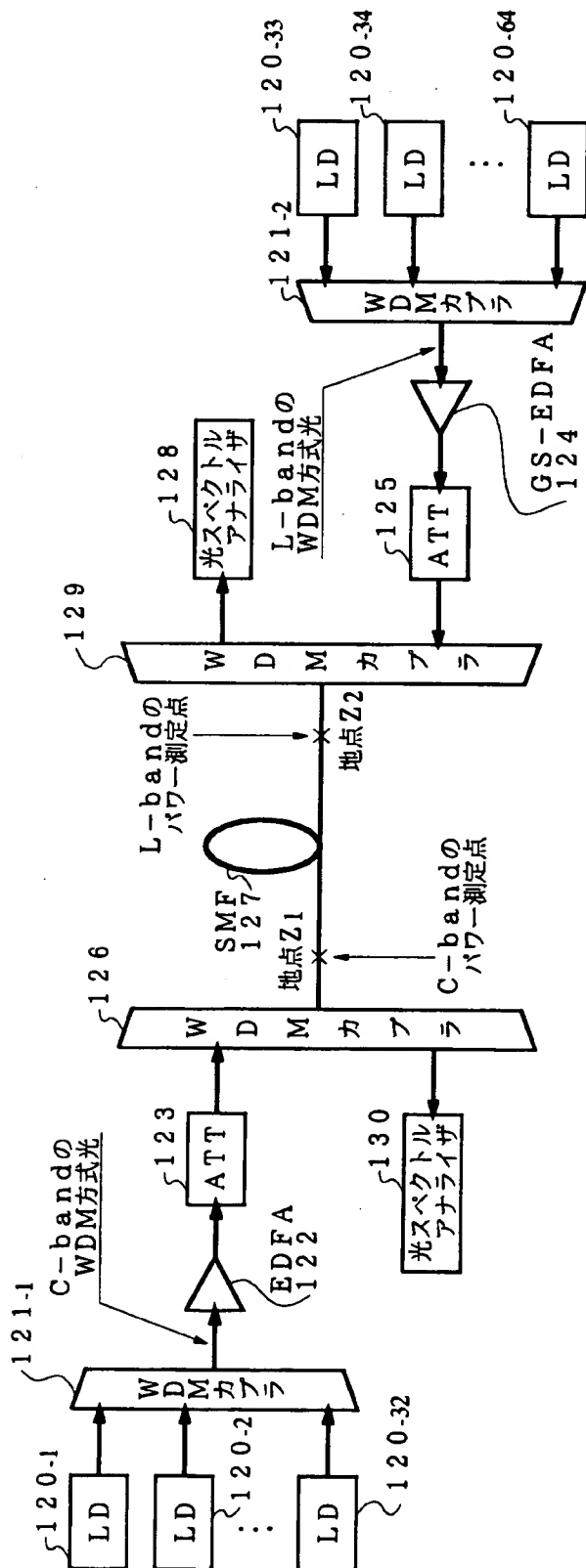
【図 2 0】

単方向伝送の場合におけるラマン利得



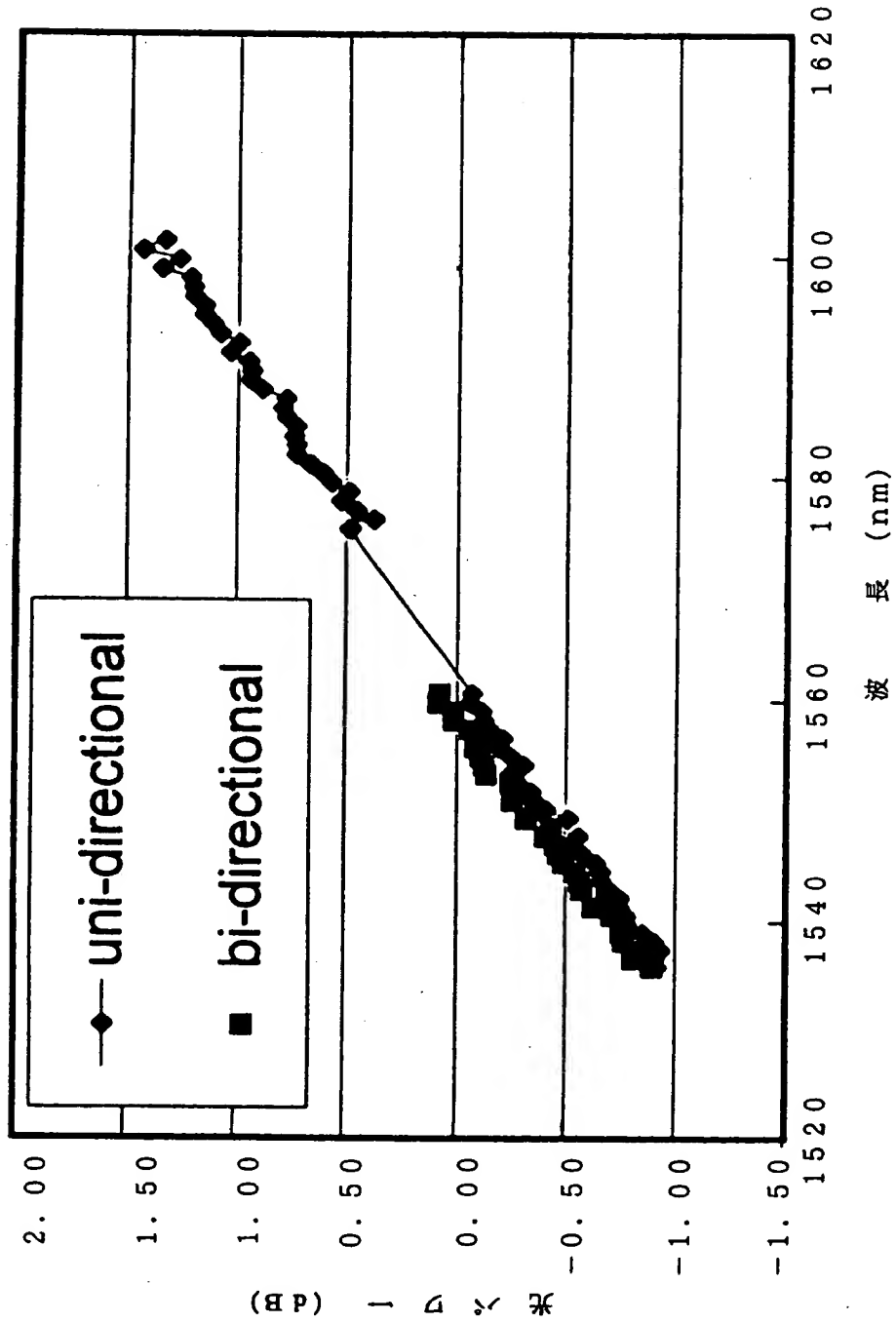
【図 2 1】

双方向伝送の場合における誘導ラマン散乱による利得傾斜を測定する測定系の構成  
(L-band (32波) およびC-band (32波) をSMFで80km伝送)



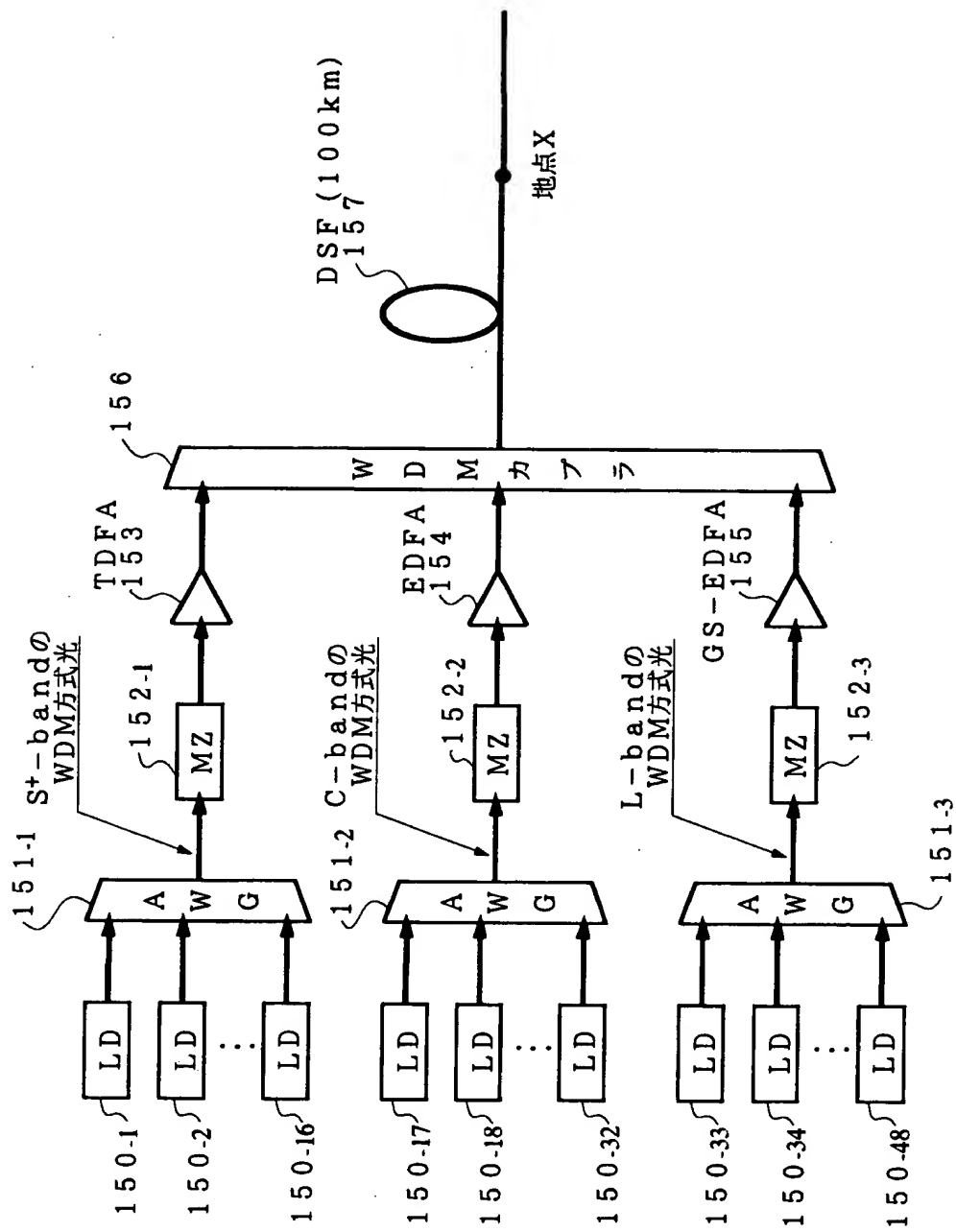
【図 2 2】

双方向伝送のラマン利得と単方向伝送のラマン利得



【図 2 3】

従来の 3 波長帯域 WDM 伝送の構成



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】本発明は、複数の波長帯域に亘る光信号を伝送する際に生じる波長帯域間の利得偏差をなくして波長帯域間の S N R を均一にする複合光増幅装置、 $n$  波長帯域 W D M 方式光信号送信装置、光伝送システムおよび光増幅方法を提供することを目的にする。

【解決手段】本発明は、複数の光増幅手段 5 と波長合波手段 6 と制御手段 7 とから構成され、複数の光増幅手段 5 は、入射される光の波長帯域ごとに設けられ、この波長帯域の光を増幅する。このとき、制御手段 7 によって増幅された各波長帯域の光が所定の地点 A まで伝搬した場合に、この地点における各波長帯域の光パワーが互いにほぼ同一になるように、各光増幅手段 5 の出力が制御される。そして、波長合波手段 6 は、増幅された各波長帯域の光を波長多重して所定の地点まで伝搬させる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1. 変更年月日	1 9 9 6 年 3 月 2 6 日
[変更理由]	住所変更
住 所	神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号
氏 名	富士通株式会社